



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

ANÁLISIS DE LA CALIDAD BIOLÓGICA Y SANITARIA DE
SEMILLAS DE CÁRTAMO (*Carthamus tinctorius* L.)

T E S I S:

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTA:

CALDERÓN AMBRÍZ ANA VALEVZKA

ASESOR: M. EN C. MARÍA CRISTINA JULIA PÉREZ REYES

COASESOR: DRA. GABRIELA SÁNCHEZ HERNÁNDEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: M. en A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.



EXÁMENES PROFESIONALES

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos **La Tesis**:

Análisis de la calidad biológica y sanitaria de semillas de cártamo (Carthamus tinctorius L.)

Que presenta la pasante: **ANA VALEVZKA CALDERÓN AMBRÍZ**
Con número de cuenta: **40700506-0** para obtener el Título de: **Ingeniera Agrícola**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 11 de abril de 2016.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M.C. María del Yazmín Cuervo Usán	
VOCAL	M.C. María Cristina Julia Pérez Reyes	
SECRETARIO	Dr. Alejandro Espinosa Calderón	
1er SUPLENTE	Ing. Arturo Leodegario Ortiz Cornejo	
2do SUPLENTE	M.C. Juan Roberto Guerrero Agama	

NOTA: Los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).
En caso de que algún miembro del jurado no pueda asistir al examen profesional deberá dar aviso por anticipado al departamento.
(Art 127 REP)
IHM/ntm*

DEDICATORIA

Tener un lugar a donde ir es un hogar. Tener alguien a quien amar es una familia.
Tener ambos es una bendición.

Donna Hedges

A Dios por poner en mi camino a tantas personas hermosas y permitirme conocer la grandeza de la naturaleza y la más noble de las diligencias como trabajar la tierra, para alimentar a nuestro pueblo

A mis padres y abuelos, que con esfuerzo, trabajo y amor, me han enseñado el invaluable significado de la vida y con su ejemplo han hecho de mí la persona que soy. A mí querida hermana Nataly por siempre estar para mí y ser mi cómplice, por ser mi ejemplo a seguir y mostrarme el gran ser humano que eres. A Miguel, mi futuro esposo, gracias por motivarme e impulsarme a hacer cosas que nunca creí posibles, por enseñarme lo que es el amor de pareja, por enseñarme a luchar por lo que quiero y por compartir conmigo el enorme amor que le tienes al campo y a las creaciones que nos concede.

A mis amigos, siempre los llevo en mi alma, Pati, Bere, Pablo, Lilisi, Móni y Prisi, por todos los momentos compartidos y por todas sus enseñanzas.

A todos y cada uno de ustedes los amo, son mi mayor bendición.

AGRADECIMIENTOS

"Honra a los labradores, porque los que labran la tierra son el pueblo escogido de Dios".

Thomas Jefferson

Agradezco a la Unidad de Granos y Semillas (UNIGRAS) por permitirme llevar a cabo la investigación en sus instalaciones, de manera especial agradezco a la Maestra Cristina Pérez y a la Doctora Gabriela Sánchez por el apoyo técnico y la orientación que me brindaron durante el trabajo de tesis, además de todos los consejos y enseñanzas académicas invaluable que compartieron conmigo, que me permitieron instruirme más allá de la investigación. Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) a través del Campo Experimental Las Huastecas, por medio del Dr. Juan Valadez que depositó su confianza en este proyecto, permitiendo que el Instituto realizara la donación de las semillas de cártamo.

Agradezco a la Universidad por formarme como profesionista. A mi carrera por haber sembrado en mí semillas de conciencia y permitirme conocer a mis grandes amigos y compartir el amor y pasión por nuestra profesión, por permitirme conocer mi país, su gente y sus costumbres.

A mis profesores, cimientos de mi carrera, personas llenas de sabiduría que sembraron en mí el conocimiento de la tierra, que de ahora en adelante rendirán los frutos del éxito, así mismo a mis sinodales por su aportación en este trabajo y enriquecerlo.

Agradezco a los agricultores, porque gracias a su ardua labor, la humanidad puede deleitar de los exquisitos frutos que la tierra nos provee.

Gracias a todas las personas que han tenido fe y paciencia en mí, de alguna manera la vida les retribuirá.

PERSONAS QUE COLABORARON CON ESTE PROYECTO



M. en C. Ma. Cristina Julia
Pérez Reyes



Dra. Gabriela Sánchez
Hernández



Dr. Juan Valadez Gutiérrez



p. Ing. Agr. Miguel Nieves
Gómez



p. Ing. Agr. Patricia
Salazar Jiménez

ÍNDICE DE CUADROS

1.	Requerimientos del cultivo	7
2.	Características de las variedades de cártamo Guayalejo y RC-1033-L	8
3.	Fechas de siembra recomendadas para el cultivo de cártamo en Sonora, Sinaloa y Tamaulipas	9
4.	Países exportadores de aceite de cártamo (ton/año)	20
5.	Países importadores de cártamo	20
6.	Definiciones de calidad biológica o fisiológica	24
7.	Definiciones de calidad sanitaria	26
8.	Definiciones de calidad física	30
9.	Definiciones de calidad genética	31
10.	Métodos de prevención y control de enfermedades del cártamo	39
11.	Germinación estándar de semillas de cártamo (<i>Carthamus tinctorius</i> L.) variedad Guayalejo, procedentes de cultivos tratados con producto de bajo impacto ambiental	48
12.	Germinación estándar de semillas de cártamo (<i>Carthamus tinctorius</i> L.) variedad RC-1033-L, procedentes de cultivos tratados con producto de bajo impacto ambiental	49
13.	Longitud media de plántulas de cártamo (<i>Carthamus tinctorius</i> L.)	51
14.	Micobiota interna presente en semillas de cártamo variedad Guayalejo	54
15.	Micobiota externa presente en semillas de cártamo variedad Guayalejo	54
16.	Micobiota interna presente en semillas de cártamo variedad RC-1033-L	57
17.	Micobiota externa presente en semillas de cártamo variedad RC-1033-L	57
18.	Características morfológicas de los géneros de hongos aislados	58
19.	Características macromorfológicas y micromorfológicas de las especies de <i>Alternaria</i> identificadas	60
20.	Características macromorfológicas y micromorfológicas de las especies de <i>Fusarium</i> identificadas	63
21.	Resultados de la prueba de sintomatología	69

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Países que contribuyen a la producción mundial de cártamo	6
2.	Fenología del cártamo	9
3.	Etapa de roseta	10
4.	Capítulo floral	10
5.	Características de la inflorescencia	10
6.	Corte transversal del capítulo floral de cártamo, exponiendo las semillas	11
7.	Semillas de cártamo con presencia de vilano	11
8.	Aportación por continente a la producción de cártamo	12
9.	Producción internacional de cártamo	13
10.	Porcentaje del valor de la producción por entidad federativa	15
11.	Superficie sembrada (ha) de cártamo	16
12.	Superficie cosechada (ha) de cártamo	17
13.	Rendimiento (ton/ha) de cártamo	18
14.	Producción (ton) de cártamo	19
15.	Decoloración de la semilla causada por hongos	27
16.	Aislamiento de <i>F. oxysporum</i> en placa de agar	28
17.	Falsa cenicilla (<i>Ramularia carthami</i>), en hojas	34
18.	Falsa cenicilla (<i>Ramularia carthami</i>) en capítulo floral	34
19.	Mancha de la hoja por <i>Alternaria carthami</i>	35
20.	Semillas de cártamo infectadas por <i>Alternaria</i> y semillas sanas	35
21.	Hojas de cártamo afectadas por roya o chahuixtle, grado de infección de menor a mayor	38
22.	Prueba de sintomatología	47
23.	Sintomatología en semillas	71

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
RESUMEN	v
1 INTRODUCCION	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos particulares	3
3 HIPÓTESIS	4
4 ANTECEDENTES	5
4.1 Las semillas	5
4.2 Características del cultivo de cártamo	5
4.3 Variedades de cártamo	7
4.4 Morfología	9
4.5 Producción internacional y nacional de cártamo	12
4.6 Importancia económica	20
4.7 Usos del cártamo	21
4.8 Calidad de la semilla	21
4.8.1 Calidad biológica	22
4.8.2 Calidad sanitaria	25
4.8.3 Calidad física	29
4.8.4 Calidad genética	31
4.9 Agentes que afectan la calidad del cártamo	32
4.10 Métodos para el control de Hongos fitopatógenos en cártamo	38
5 MATERIALES Y MÉTODOS	40
5.1 Material biológico	40
5.2 Prueba de germinación estándar	41
5.3 Prueba de longitud media de plántula (vigor)	42

5.4	Prueba de micobiota	43
5.5	Prueba de sintomatología en plántulas	46
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
6.1	Análisis de la prueba de germinación estándar	47
6.2	Análisis de la prueba de longitud media de plántula	51
6.3	Análisis de la prueba de micobiota	53
6.4	Análisis de la prueba de sintomatología de plántulas	69
7	CONCLUSIONES	72
8	RECOMENDACIONES	74
9	BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	75
10	ANEXOS	83

RESUMEN

En los últimos años el cultivo de cártamo ha adquirido una creciente demanda comercial por la alta calidad de aceites comestibles que producen sus semillas, además, su cultivo representa una oportunidad de producción para diferentes estados de la República Mexicana donde predominan condiciones de aridez, ya que se adapta a suelos poco fértiles y con poca disponibilidad de agua.

Dos variedades de cártamo, Guayalejo y RC-1033-L, se evaluaron para determinar su calidad biológica y sanitaria. Las muestras procedentes de cultivos tratados con productos de bajo impacto ambiental de origen vegetal, biológico, mineral y un fungicida comercial, con el fin de analizar si alguno de estos tratamientos fungicidas aplicados al cultivo, tendría un efecto positivo sobre la germinación, longitud media de plántula y la micobiota asociada a las semillas.

Los productos aplicados al cultivo fueron: M0 Testigo sin aplicación; M1 aceite de Neem (*Azadirachta indica*) 1.5 l/ha; M2 *Bacillus subtilis* 1.5 l/ha; M3 solución de Gobernadora (*Larrea tridentata*) 1.5 l/ha; M4 caldo sulfocálcico 2 l/ha; M5 solución al 1% de bicarbonato de sodio más 1 % de surfactante; M6 Carbendazim® 250 g i.a. /ha; M7 fosfito de calcio más microelementos 1l/ha más 6 kg/ha, respectivamente.

Los resultados obtenidos de las pruebas de calidad demostraron que todas las muestras analizadas de la variedad Guayalejo presentaron bajo porcentaje de germinación y en la RC-1033-L, sólo dos muestras presentaron un porcentaje superior o igual al límite mínimo permitido para la comercialización de semilla de cártamo.

En cuanto a la micobiota, se encontraron dos géneros de hongos que han sido reportados en México como causantes de enfermedades de importancia económica en el cultivo de cártamo como *Alternaria* spp y *Fusarium* spp; además de *Stemphylium* spp, que no es considerado patógeno de importancia económica en este cultivo.

En los géneros *Alternaria* y *Fusarium* se identificaron especies potencialmente productoras de micotoxinas.

También se logró observar el proceso de sintomatología causado por diferentes especies del género *Alternaria*, en la germinación y emergencia de las plántulas de cártamo.

Se encontró que los fungicidas de origen vegetal fueron los que presentaron un efecto fungistático contra *Fusarium* spp. y *Stemphylium* spp.

1. INTRODUCCIÓN

El científico alemán Friedrich Nobbe, considerado como el padre del análisis de las semillas, pensaba que la determinación de la calidad sanitaria y fisiológica de las semillas era fundamental para la producción agrícola, para él era de vital importancia que las semillas vendidas al agricultor fueran de la especie deseada, así como verificar en un lote de semillas que fueran la especie de interés, pero sobre todo que las semillas vendidas al productor tuvieran el potencial para producir una planta sana en campo (Muschick, 2009).

Las semillas son el punto clave y básico para la producción. Rueda (2011), menciona que la calidad de las semillas depende de los antecedentes de la misma, desde el momento de la fecundación hasta la siembra de la mismas, sin embargo, durante este periodo la calidad se puede ver afectada de diferentes maneras por ejemplo, las condiciones ambientales antes y durante la cosecha, el método de cosecha, el secado, los daños mecánicos, la transportación, el almacenamiento y el ataque de plagas y enfermedades, en el campo y en el almacén.

Entre los microorganismos que infectan las semillas, los hongos destacan por ser la principal causa de enfermedades, en gran medida demeritan no solo la calidad de las semillas, también ocasionan pérdidas económicas al reducir el potencial de producción de los cultivos que atacan. Existen un sin fin de tratamientos químicos, que por su uso excesivo e irracional, se ha ocasionado que algunas enfermedades se vayan adaptando y generando resistencia a algunos compuestos químicos empleados para su control, por lo que es prioritario realizar el control de enfermedades de manera eficiente, rentable y con productos de bajo impacto ambiental de manera integral (Valadez, 2012).

En el caso del cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), uno de los principales problemas del cultivo es la incidencia de lluvias durante las etapas de floración y llenado de

grano, situación que favorece condiciones óptimas para el desarrollo de enfermedades fungosas responsables del avanamiento del grano y otros siniestros en el cultivo (Valadez, 2009). En México, las enfermedades de mayor importancia económica para el cártamo son: la mancha de la hoja, causada por *Alternaria carthami*; la mancha plateada, por *Stemphyllium solani*, la roya del cártamo, por *Puccinia carthami* y la pudrición de la raíz, por *Fusarium oxysporum* (CNSPO, 2006).

Para el desarrollo del presente trabajo se tomó como precedente el estudio “Rendimientos de granos de dos variedades de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), en respuesta al control de enfermedades con productos de bajo impacto ambiental” siendo responsable de este proyecto el Doctor Juan Valadez Gutiérrez, investigador del programa de oleaginosas, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Las Huastecas, Tamaulipas. Para dar continuidad al trabajo, se consideró importante analizar la calidad de las semillas cosechadas del trabajo mencionado anteriormente y observar el efecto de los diferentes tratamientos de bajo impacto ambiental aplicados en campo durante el cultivo, sobre la incidencia y transmisión de hongos causantes de enfermedades asociados a las semillas de dicho cultivo. Se utilizaron muestras de dos variedades de semillas de cártamo, Guayalejo y RC-1033-L. Los productos aplicados al cultivo fueron: M0 Testigo sin aplicación; M1 aceite de Neem (*Azadirachta indica*) 1.5 l/ha; M2 *Bacillus subtilis* 1.5 l/ha; M3 solución de Gobernadora (*Larrea tridentata*) 1.5 l/ha; M4 caldo sulfocálcico 2 l/ha; M5 solución al 1% de bicarbonato de sodio más 1 % de surfactante; M6 Carbendazim® 250 g i.a. /ha; M7 fosfito de calcio más microelementos 1l/ha más 6 kg/ha, respectivamente.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Determinar la calidad biológica y sanitaria de semillas de cártamo de las variedades Guayalejo y RC-1033-L, procedentes de cultivos tratados con ocho productos de bajo impacto ambiental, de origen vegetal, mineral y químico.

2.2. Objetivos particulares

- Establecer el efecto de ocho productos de bajo impacto ambiental aplicados en campo al cultivo cártamo, sobre los hongos asociados a las semillas de las variedades Guayalejo y RC-1033-L, por el método de placa agar y su relación con la calidad biológica.
- Determinar la germinación y vigor de semillas de cártamo de las variedades Guayalejo y RC-1033-L, por medio de pruebas estandarizadas, para discriminar el efecto de los ochos productos de bajo impacto ambiental aplicados en campo y su efecto sobre la calidad biológica de las semillas evaluadas
- Analizar la sintomatología en plántulas de cártamo de las variedades Guayalejo y RC-1033-L causada por hongos, por el método de tubo agar, con el fin de determinar si los hongos aislados e identificados son transmitidos por medio de las semillas.

3. HIPÓTESIS

En las semillas de cártamo de las variedades Guayalejo y RC-1033-L, al menos uno de los tratamientos fungicidas de bajo impacto ambiental aplicados en campo al cultivo de cártamo, tendrá mejor efecto sobre la calidad biológica y sanitaria y evitará la transmisión de enfermedades causadas por hongos.

4. ANTECEDENTES

4.1. Las semillas

Las semillas están ligadas al origen del hombre y desde entonces éste ha entendido que el grano o semilla sirve para la alimentación y la propagación de la especie, respectivamente, de tal manera que las semillas se han tornado importantes en la conservación humana. Desde el punto de vista de la alimentación, representa el principal suministro de alimento para el ser humano, su importancia es tal, que muchas naciones miden su riqueza de acuerdo al volumen de grano que poseen. Entre los diferentes granos que existen destacan los cereales (maíz, trigo, arroz, cebada, sorgo, etc.) pues son la principal fuente de alimentos. En orden de importancia, después de los cereales siguen las leguminosas (frijol, soya, lentejas, etc.) y por último, las oleaginosas, como el cártamo, ya que sus semillas contienen un buen porcentaje de aceite de alta calidad para el consumo humano e industrial (Flores, 2004).

4.2. Características del cultivo de cártamo

El cártamo es uno de los cultivos más antiguos de la humanidad. Su nombre proviene del árabe “Kârtum”, que significa “tinte” (CONABIO, 2015), el cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), también es conocido como alazor, azafrán o azafrancillo (Dajue y Mündel, 1996). Originalmente, el cártamo fue cultivado por sus flores, las cuales eran utilizadas para obtener pigmentos rojos y amarillos para la coloración de telas y alimentos (CNSPO, 2006).

Tanto las plantas jóvenes como las semillas eran destinadas a la alimentación de ganado (INFOASERCA, 1999). Actualmente las semillas de cártamo proveen de aceite, jabón, harina de extracción y alimento para ganado. Su aceite se usa también para fabricar pinturas blancas, ya que tiene la propiedad de tornarse de color amarillo (CNSPO, 2006). A nivel mundial, la India es el país con la mayor producción de cártamo con 31%, México ocupa el segundo lugar con el 23.2%, el tercer país productor es Kazajistán con el 18.5%, y el resto los producen Estados Unidos de América con 17.5% y Argentina con el 9.6% (Figura 1) de acuerdo a estadísticas de FAOSTAT, 2016.

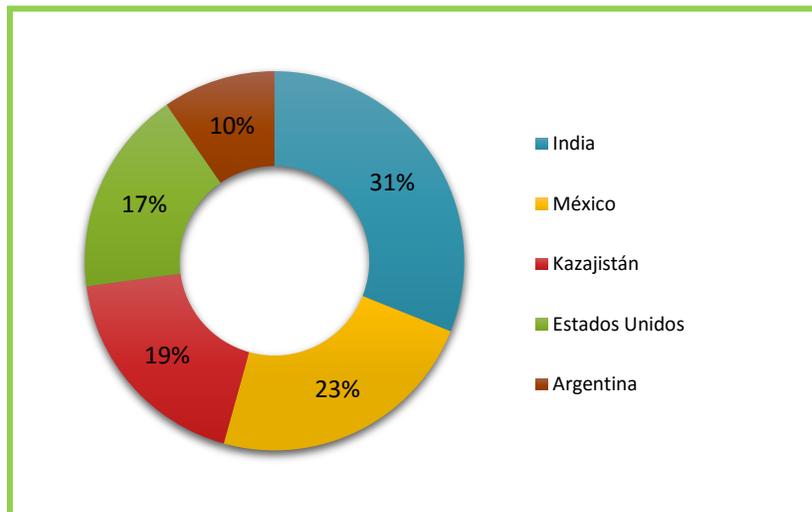


Figura 1. Países que contribuyen a la producción mundial de cártamo
(Elaboración propia, 2016)

El cártamo se adapta a regiones de baja precipitación pluvial y humedad relativa baja (CNSPO, 2012), en la primera etapa de desarrollo vegetativo denominada “roseta” la planta requiere de temperaturas bajas y mantiene un desarrollo lento, y éste va aumentando conforme las temperaturas van ampliando. En el Cuadro 1 se muestran los requerimientos del cultivo.

Cuadro 1. Requerimientos del cultivo

Factor	Requerimiento
Temperatura óptima	20- 35°C
Temperatura máxima	< 40 °C
Temperatura mínima	> 10 °C
Altitud	0 - 1950 msnm
Suelo	Textura media
Precipitación	350 a 450 mm
Ciclo vegetativo	120 a 240 días
Fotoperiodo	No influye

Fuente: Robles, 1982; Valadez *et al.*, 2011; Vargas, 2012. (Elaboración propia, 2016)

4.3. Variedades de cártamo

Existen dos tipos de cártamo, las variedades que producen aceite con alto porcentaje de ácidos grasos monoinsaturados, principalmente ácido oleico, que es más resistente a la oxidación y permite su reutilización en varias veces y aquellas variedades con alta concentración de ácidos poliinsaturados, aceite tipo linoleico, que no provoca problemas de colesterol en la sangre. Lo anterior hace que el aceite de cártamo sea un alimento de alta calidad para el consumo humano (Vargas, 2012).

El Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas (CNSPO) en 2006 reporta que las viejas variedades de cártamo registraban menos de un 30 % de aceite y rendimientos muy bajos, los cuales fueron elevados a un 35%. Ahora existen variedades cuyo contenido de aceite es cercano a un 75 % de ácido linoleico, lo cual es considerablemente mayor que el contenido en otras oleaginosas como el algodón, el cacahuate y el olivo; y un 25 a 30% de ácido oleico.

En la región de Las Huastecas las variedades comúnmente sembradas son Mante-81, Gila y Saffola-208, estas variedades se caracterizan por tener abundantes espinas en las hojas, buena ramificación en el tallo y un color amarillo en las flores que al secarse se torna rojizo (Valadez *et al.*, 2011). Gracias a la investigación se han generado variedades que representan una alternativa para aumentar los ingresos de los productores de la región. Algunas de esas variedades generadas por el INIFAP, que se adaptan a la región de Las Huastecas son Guayalejo, Tantoán-91, RC-1033-L, RC-1005-L y CIANO Oleica.

En los Cuadros 2 y 3, se describen las características de las variedades utilizadas en el presente trabajo y las fechas de siembra recomendadas para los principales estados productores de este cultivo.

Cuadro 2. Características de las variedades de cártamo Guayalejo y RC-1033-L

Características	Variedades	
	Guayalejo	RC-1033-L
Altura	120 cm	109 cm
Índice de espinosidad	Alto	Medio
Días a floración	91 a 100	96
Madurez comercial	138 a 149	137
Color de flores frescas	Amarillo	Amarillo
Color de flores secas	Amarillo y naranja	Amarillo
Tamaño de semilla	Grande	Medio
Color de semillas	Blanco	Blanco oscuro
Semilla resistente al desgrane	Si	Si
Rendimiento promedio	1,800 kg/ha	1,000 kg/ha
Rendimiento potencial	2,000 kg/ha	1,700 kg/ha
Ciclo vegetativo (días)	139-149	137-147
Tipo de aceite	Linoleico	Linoleico

Fuente Valadez *et al.*, 2011. (Elaboración propia, 2016).

Cuadro 3. Fechas de siembra recomendadas para el cultivo de cártamo en Sonora, Sinaloa y Tamaulipas.

Estado	Modalidad	Fechas de siembra recomendadas
Sonora	Temporal	15 de Noviembre - 15 de Enero
Sinaloa	Riego	15 de Noviembre - 15 de Enero
	Temporal	01 de Noviembre - 15 de Diciembre
Tamaulipas	Temporal	01 de Noviembre - 31 de Diciembre

Fuente Borbón *et al.*, 2010; Montoya, 2010. (Elaboración propia, 2016).

4.4. Morfología

El cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) pertenece a la familia de las *Asteráceas*, es una planta anual, que puede llegar a medir hasta 1.5 m de altura, con raíz pivotante, se compone de un tallo principal erecto y ramificado (la ramificación depende del genotipo y de la densidad de población), de forma cilíndrica, ligeramente pubescente o glabro (Robles, 1982). Después de ocurrida la emergencia presenta una etapa de lento desarrollo (Figura 2), en esta etapa se producen una gran cantidad de hojas a nivel del suelo, a la cual se le denomina “roseta” (Figura 3).



Figura 2. Fenología del cultivo de cártamo (Dajue y Mündel, 1996).



Figura 3. Etapa de roseta (Montoya, 2010).

De acuerdo a Montoya (2010), sus hojas son alternas, sésiles, con márgenes ligeramente dentados y con un ápice puntiagudo. La inflorescencia (Figura 4) es capítulo floral cónico, cubierto por brácteas coriáceas, compuesto de múltiples flores (Figura 5), cada una de ellas cuenta con una estructura tubular, fina y delgada, corola pentámera, lanceolada, acuminada y glabra (Figura 5), de color amarillo o naranja, en forma de estrella, androceo con 5 estambres soldados en el ápice formando un cilindro hueco por el que pasa el estilo, éste es largo, filiforme y culmina con el estigma, el ovario tiene solo un óvulo (Robles, 1982), cada capítulo floral (Figura 6) cuenta con 15- 30 semillas, a veces más.



Figura 4. Inflorescencia (Montoya, 2010).

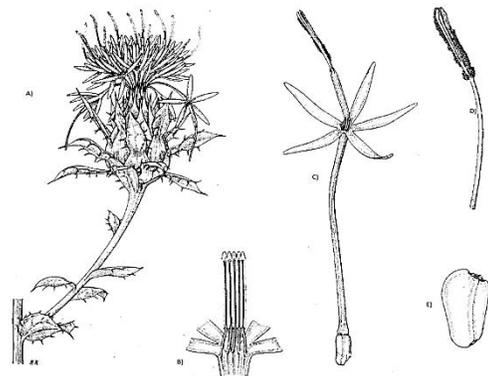


Figura 5. Características de la inflorescencia. Inflorescencia de *Carthamus tinctorius* L. A) Capitulum floral, B) Tubo de anteras, C) Flor tubular, D) Estigma, E) Aquenio. (Dajue y Mündel, 1996).



Figura 6. Corte transversal del capítulo floral de cártamo, exponiendo las semillas. (Mündel *et al.*, 2004).

El fruto del cártamo es un fruto seco llamado aquenio, indehisciente, surcado por cuatro aristas longitudinales, de forma alargada, su color va de un color cremoso a blanco, dependiendo de la variedad puede haber tonalidades grises y cafés (Figura 7A). El vilano es corto (Figura 7B) y no persistente (Montoya, 2010).

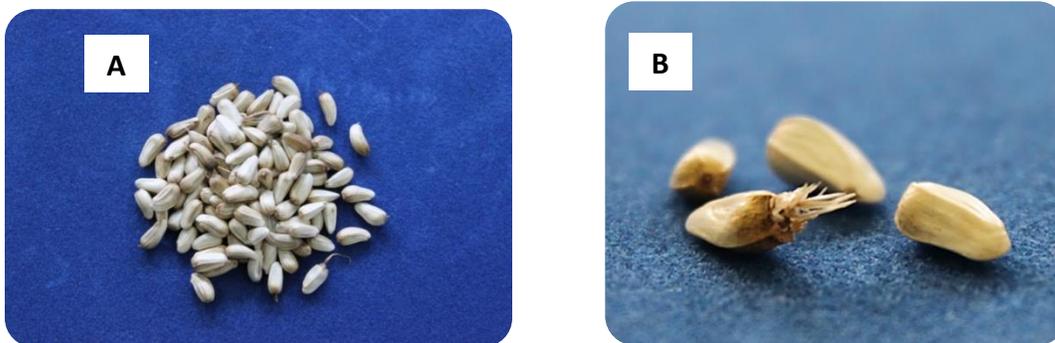


Figura 7. Semillas de cártamo (A) y presencia de vilano (B)

4.5. Producción internacional y nacional de cártamo

El cártamo ha sido cultivado durante siglos y ha tomado mayor relevancia, pues esta especie tiene gran capacidad de adaptarse a zonas áridas y semiáridas, con precipitaciones bajas y resistentes a bajas temperaturas en sus etapas tempranas (Robles, 1982; Vargas, 2012).

En cuanto a la producción internacional el Continente Asiático produce el 52% de las semillas de cártamo, siendo la India el principal productor de este cultivo, seguido de Kazajistán, mientras que el Continente Americano ocupa el segundo lugar con un 41.6% de la producción compuesto por México, Estados Unidos y Argentina, el 5.8% restante se produce en África, Europa y Oceanía (Figura 8).

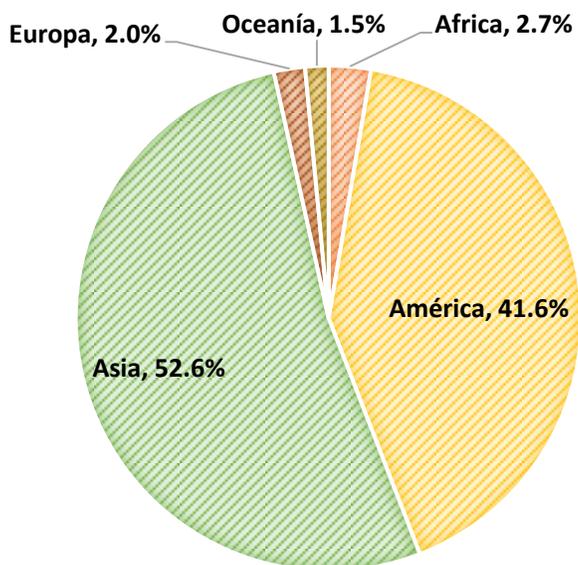


Figura 8. Aportación por continente a la producción de cártamo. FAOSTAT, 2016
(Elaboración propia, 2016)

Como se observa en la Figura 9 la India ha sido el mayor productor de cártamo en los últimos 10 años, aunque a partir de 2010 la producción ha ido en decremento, pues en 2007 logró una producción de 240 mil toneladas y para el 2013 su producción fue de 109 mil toneladas. Kazajistán es el país que se ha mantenido en crecimiento constante, durante estos últimos 8 años en 2008 tuvo una producción de 45 mil toneladas y en 2013, alcanzó 174 mil ton. Estados Unidos ha mantenido una producción que oscila entre las 80 y 120 miles de toneladas en la última década. Mientras que Argentina ha incrementado su producción, en 2007 que producía 58 mil toneladas y en 2012 obtuvo 108 mil ton.

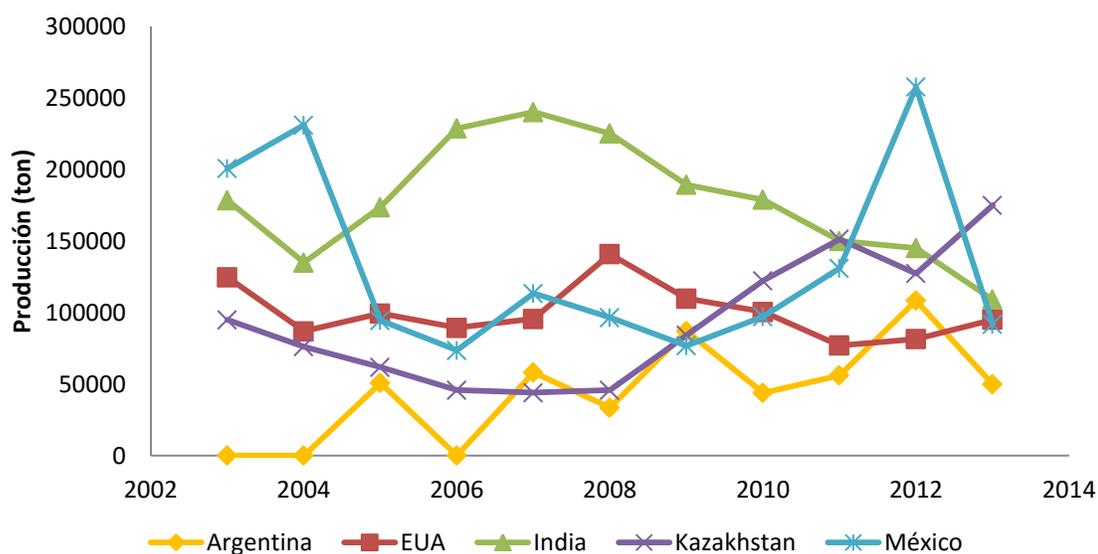


Figura 9. Producción internacional de cártamo. FAOSTAT, 2015 (Elaboración propia, 2016)

En México el cártamo fue introducido en el año de 1905, se cultivó por primera vez en el estado de Guanajuato. De 1948 a 1956, se hicieron pruebas para adaptar el cultivo en los estados de Morelos, Guanajuato y Jalisco, fue hasta 1956 cuando el Centro de Investigaciones Agrícolas del Noreste (CIANO) en Sonora, inicia trabajos de investigación enfocados en la siembra, densidades de población, dosis de fertilización y obtención de variedades, a partir de los 60's inician trabajos de investigación en el Bajío (Robles, 1982; Montoya, 2010).

En 1964 se encontró en México que en la parte sur del estado de Tamaulipas se presentaban condiciones ecológicas necesarias para el establecimiento del cultivo del cártamo, actualmente es en donde se está sembrando, principalmente bajo condiciones de temporal. Sin embargo, desde su introducción al país, no se ha mantenido una producción creciente ya que de acuerdo a FAOSTAT, en 2004 se presentó una producción de 230 mil ton y para 2005 ésta bajó considerablemente a 94 mil ton, misma situación que se repitió en 2012, con una producción de 257 mil ton y en 2013 decayó hasta 91 mil ton.

El cultivo de cártamo representa una oportunidad de producción para diferentes estados de la República Mexicana donde predominan los climas áridos y semiáridos, ya que es un cultivo que se adapta a suelos poco fértiles y con poca disponibilidad de agua. De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), los estados con mayor producción son Sonora, Tamaulipas, Sinaloa, Jalisco y Michoacán. Aunque hay otros estados que también producen este cultivo, pero en menor cantidad, como San Luis Potosí, Nayarit, Baja California y Baja California Sur, como se muestra en la Figura 10 (SIAP, 2015).

Porcentaje del valor de la producción por entidad federativa

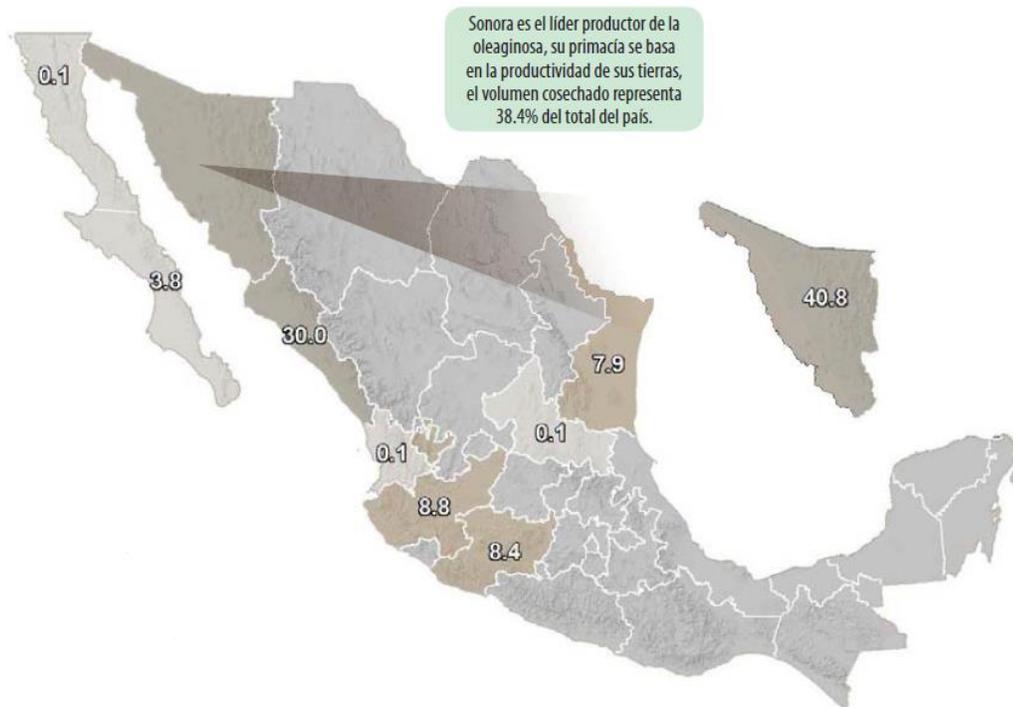


Figura 10. Porcentaje del valor de la producción por entidad federativa. Atlas Agroalimentario (SIAP, 2014)

Sonora ocupa el primer lugar en superficie sembrada de cártamo, con un promedio en los últimos 10 años (2004 a 2014) de 38 mil hectáreas, seguido de Tamaulipas, con promedio en los últimos 10 años (2004 a 2014) de 35 mil hectáreas, seguido de Tamaulipas, con un promedio de 35 mil hectáreas, por último Sinaloa con 30 mil hectáreas (Figura 11). Tamaulipas es el estado que ha aumentado la superficie sembrada con este cultivo paulatinamente. El último dato registrado de 2014 indica que se sembraron casi 39 mil hectáreas (SIAP, 2015).

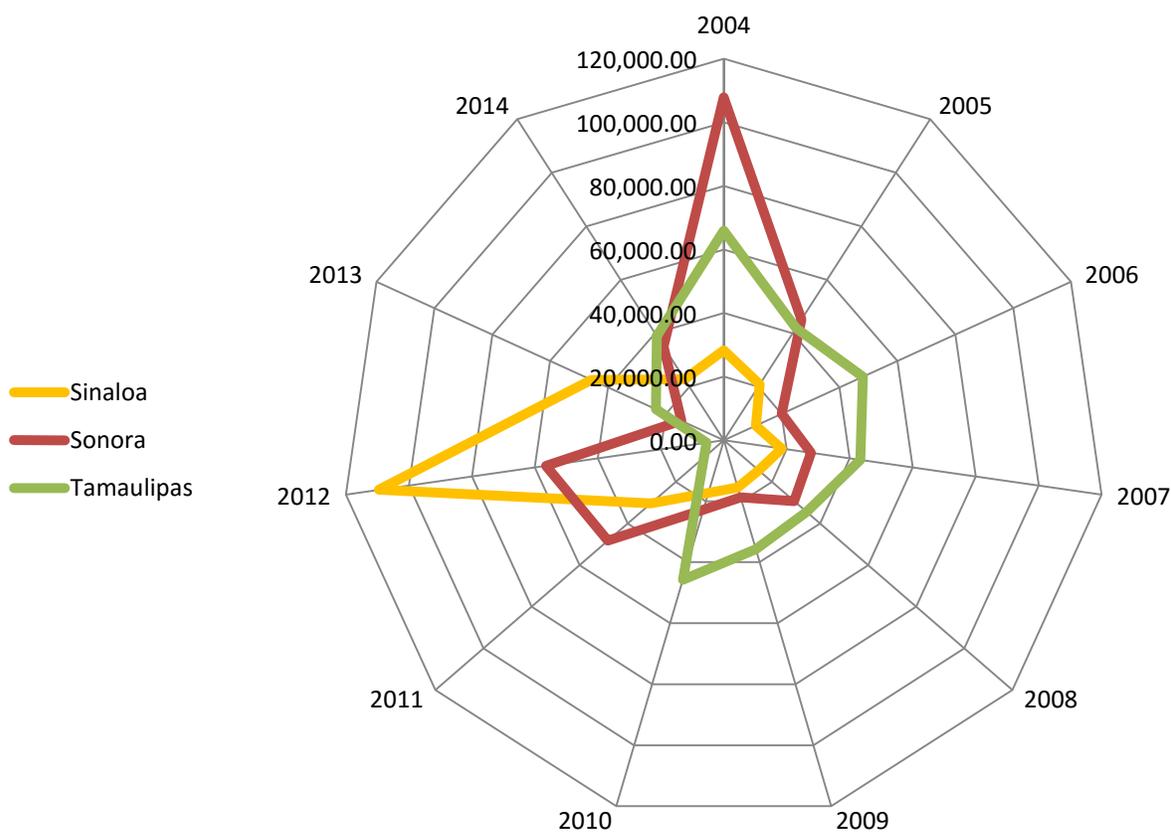


Figura 11. Superficie sembrada (ha) de cártamo; SIAP, 2015 (Elaboración propia, 2016)

En cuanto a la superficie cosechada, en la Figura 12 se muestra que Sonora presenta la mayor cantidad de superficie cosechada con un promedio de 38 mil hectáreas, le sigue el estado de Sinaloa, que aunque ocupa el tercer lugar nacional en superficie sembrada, en cuanto a superficie cosechada ocupa el segundo lugar con un promedio de 25 mil hectáreas y Tamaulipas ocupa el tercer lugar con un promedio de 24 mil hectáreas cosechadas (SIAP, 2015).

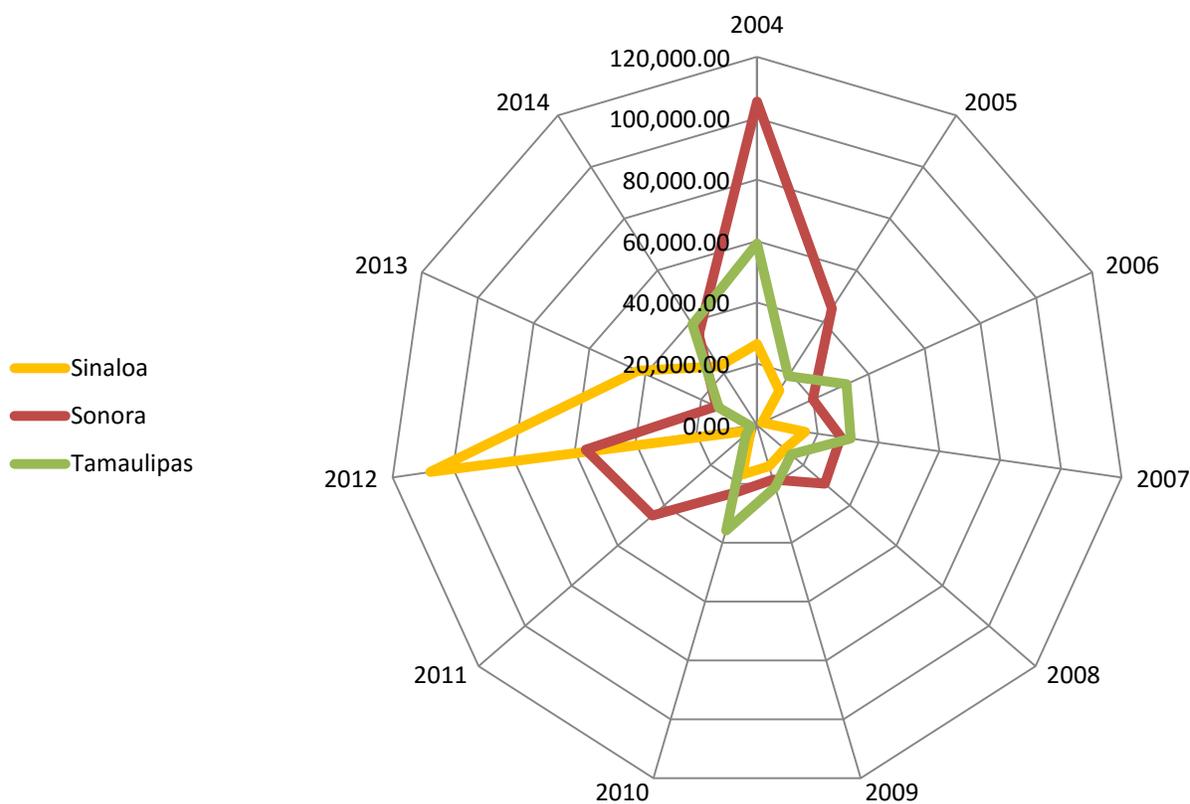


Figura 12. Superficie cosechada (ha) de cártamo; SIAP, 2015 (Elaboración propia, 2016)

En la Figura 13 se observa claramente que el estado de Sonora tiene el mayor rendimiento (ton/ha) del cultivo de cártamo, pues el promedio de los últimos 10 años ha sido de 2.1 ton/ha, en 2010, el estado logró su mayor rendimiento registrado de 2.53 ton/ha. Después sigue Sinaloa con un promedio de 0.74 ton/ha y por último el estado de Tamaulipas con un promedio de 0.42 ton/ha, sin embargo este estado ha logrado aumentar sus rendimientos con el paso del tiempo, por ejemplo, en 2002 el rendimiento promedio era de 0.29 ton/ha, para 2013 se indica un rendimiento de 0.59 ton/ha (SIAP, 2015).



Figura 13. Rendimiento (ton/ha) de cártamo; SIAP, 2015 (Elaboración propia, 2016)

De acuerdo a datos del SIAP (2015) y como se muestra en la Figura 14, Sonora es el estado con mayor producción de cártamo del país, el promedio de los últimos años es de 74 mil ton, en 2004 se registró la mayor producción con 147 mil ton y la más baja en 2013 con 35 mil ton. En producción le sigue Sinaloa, con un promedio de 21 mil ton, aunque en 2012 se registró su máxima producción con 111 mil ton, Tamaulipas ocupa el tercer lugar en producción con un promedio de 10 mil ton, registrando en 2004 y 2014 su mayor producción, con 25 mil y 19 mil ton.

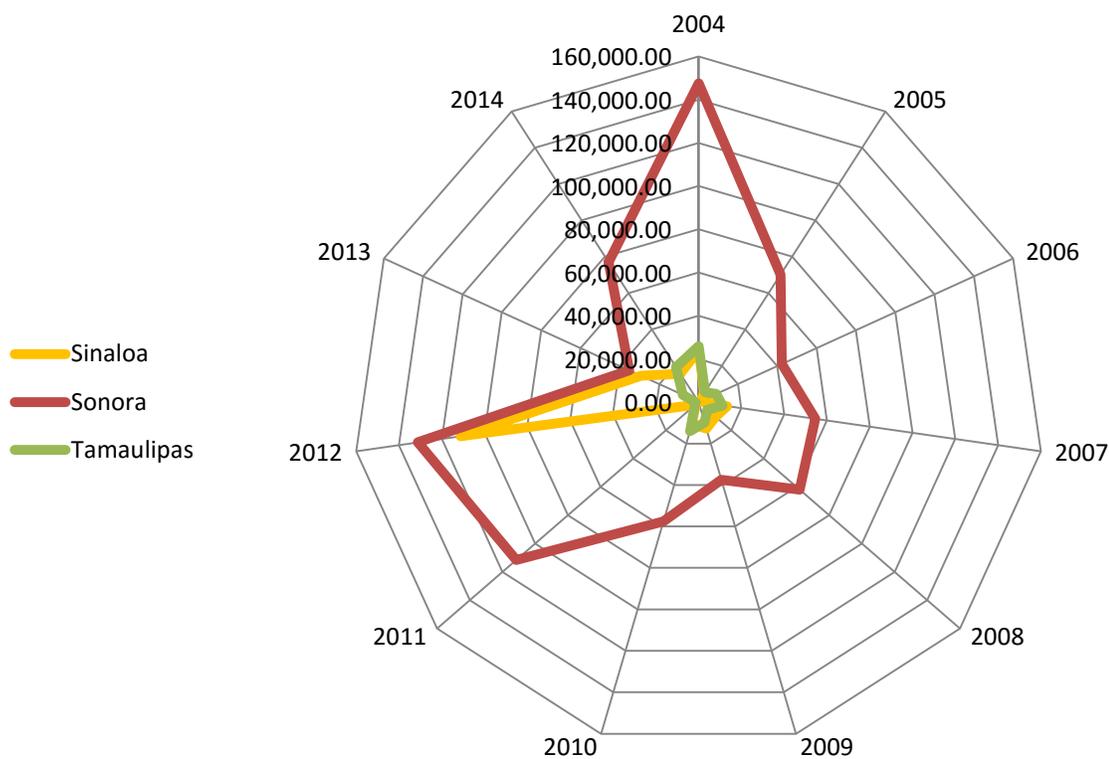


Figura 14. Producción (ton) de cártamo; SIAP, 2015 (Elaboración propia, 2016)

4.6. Importancia económica

Este cultivo ha tenido una gran demanda comercial para la elaboración de aceites comestibles (Borbón, 2010) ya que éste es de gran valor comercial, al ser altamente digestible (Vargas, 2012). En la industria aceitera, después de obtener el aceite comestible de las semillas, queda un subproducto o residuo al que se le llama pasta, y ésta es utilizada como suplemento proteico para el alimento del ganado, ya que contiene un alto nivel de proteínas y fibra (CNSPO, 2012).

De acuerdo al SIAP en el 2013, el total de las exportaciones de cártamo se destinaron a Estados Unidos, a continuación en los Cuadros 4 y 5 se muestran los principales países exportadores e importadores de aceite de cártamo del 2002 al 2007 (FAOSTAT, 2015 y Montoya, 2010).

Cuadro 4. Países exportadores de aceite de cártamo (ton/año)

País	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Estados Unidos	19,459	14,129	16,445	19,110	17,933	16,999
México	10,026	5,899	8,206	9,233	12,342	17,751
Argentina	8,834	6,500	12,501	19,519	5,773	8,310
Países Bajos	17,634	17,286	6,724	8,172	7,462	4,390
Otros países	1,352	1,429	419	214	4,204	624
Mundial	57,305	45,243	44,295	56,248	47,714	48,074

FAOSTAT, 2015 y Montoya, 2010.

Cuadro 5. Países importadores de aceite de cártamo (ton/año)

País	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Alemania	25,184	17,185	20,608	11,486	13,317	13,939
Estados Unidos	15,775	33,994	36,144	27,680	24,880	31,858
Japón	19,156	14,493	13,265	15,051	13,639	14,021
México	171	67	1,828	639	3,012	7,407
Países Bajos	19,350	19,666	20,067	12,419	17,118	15,174
Reino Unido	791	863	225	287	1,174	1,857
Otros países	3,544	30,300	3,134	7,610	3,825	5,222
Mundial	83,971	116,568	95,271	75,172	76,965	89,478

FAOSTAT, 2015 y Montoya, 2010.

El aceite de cártamo, desde el punto de vista industrial, se encuentra dentro de los aceites secantes o semisecantes, por lo que se utiliza en la elaboración de pinturas, su color transparente y su propiedad de no tornarse, con el tiempo, permiten su uso en pinturas blancas y/o claras amarillo (CNSPO, 2006).

4.7. Usos del cártamo

En países como Afganistán y la India el follaje de la planta se utiliza para hacer infusiones; también en India y Pakistán se utiliza toda la planta con fines medicinales; en China, por ejemplo, se utilizan las flores para elaborar té y para dar color a algunos alimentos como el arroz y el pan, aunque también utilizan las flores para hacer tintes para telas; al igual que Egipto, ya que con sus flores tiñen el algodón y la seda. En cuanto a las semillas, en Irán se realiza una pasta de cártamo para elaborar quesos (Dajue y Mündel, 1996).

4.8. Calidad de la semilla

La Real Academia Española (2016) define la calidad como “propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor”. En este caso la calidad de las semillas es determinada por cuatro factores o cualidades, por potencial biológico o fisiológico, por sus características físicas, sanitarias y genéticas (Mendoza *et al.*, 2004).

Éste es el punto más importante para la industria semillera de cualquier país, pues la calidad de la semilla solo es un eslabón más de la cadena, y es esencial para el mantenimiento y desarrollo de la agricultura, ya que repercute directamente en el aumento de la producción agrícola (Mendoza *et al.*, 2004; Flores, 2004).

El análisis de las semillas nos permite evaluar las cuatro cualidades básicas de las que se compone la calidad de las semillas, mencionadas anteriormente.

Si bien es conocido que las semillas con alta viabilidad y vigor, son capaces de producir plantas sanas, resistentes a condiciones ambientales desfavorables, por ejemplo, poca humedad y cambios de temperatura, es decir, plantas productivas, también se sabe que si alguna de estas cualidades es débil, se convierte en un factor que limita o puede llegar a mermar nuestra producción (Terenti, 2004).

Existen instituciones internacionales como la Asociación Internacional de Analistas de Semillas (ISTA, por sus siglas en inglés) y la Asociación Oficial de Analistas de Semillas (AOSA, por sus siglas en inglés), que establecen las reglas, métodos y servicios para el muestreo y análisis de semillas, promueven la investigación y desarrollo de información especializada y estandarizada, además de la acreditación de laboratorios, para ofrecer una mayor confiabilidad en la información de la calidad de la semillas. Estos organismos también apoyan los esquemas nacionales e internacionales de certificación, para un comercio regulado de las semillas. El organismo encargado de la certificación en nuestro país es el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) que también se apoya en los estándares de la ISTA y la AOSA.

4.8.1. Calidad biológica

Las condiciones de producción en campo, en lo que se refiere a las condiciones climáticas principalmente y algunos factores agronómicos, afectan directamente al proceso de formación y desarrollo de la semilla y por ende su potencial biológico a la hora de ser utilizada para la siembra (Flores, 2004).

Los factores para evaluar el componente biológico o fisiológico son tres principalmente, descritos a continuación:

- **Germinación.** La germinación se define como la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales que provienen del embrión y que manifiestan la capacidad de la semilla para producir una planta normal bajo condiciones favorables (Moreno, 1996).

De acuerdo a la ISTA (2009) las pruebas de germinación adecuadas para evaluar las semillas de cártamo pueden ser entre papel (BP por sus siglas en inglés), sobre papel (TP) y en arena (S), de modo que la humedad y el sostén de las semillas, sea el adecuado durante la prueba (Tadeo *et al.*, 2009), el ensayo se debe incubar a una temperatura constante entre los 20 - 30°C, aunque lo ideal son 25°C, el primer conteo se recomienda a los 4 días y el último conteo a los 14 días de iniciada la prueba, la ISTA indica que las semillas de cártamo no requieren de un tratamiento previo a la evaluación.

- **Viabilidad.** Es la capacidad de la semilla para germinar y dar origen plantas normales, en condiciones favorables. Para evaluar y cuantificar la viabilidad se pueden realizar diferentes tipos de pruebas, entre las que destacan las de germinación; pruebas de tetrazolio, que reacciona con tejido vivo de la semilla; esta última sobre todo en semillas almacenadas (Flores, 2004).
- **Vigor.** Se define como la suma total de todas aquellas propiedades que determinan el nivel de actividad y capacidad de las semillas durante la germinación y posterior emergencia de las plántulas, sobre todo cuando las condiciones de siembra no son óptimas. Las que se comportan de manera adecuada se llaman semillas de alto vigor y las que se comportan pobremente son denominadas semillas de bajo vigor (FAO, 2011).

El vigor de un lote de semillas es el resultado de la interacción de una serie de características, como su constitución genética, las condiciones ambientales y nutricionales de la planta durante su periodo de formación, el grado de madurez, tamaño, peso, su integridad física, grado de deterioro y envejecimiento, y la contaminación por organismos patógenos (Moreno, 1996).

De tal manera que determinar el vigor es de gran relevancia, ya que esta prueba nos arrojará información que nos ayudará a predecir el comportamiento de un lote cuando las condiciones medio ambientales y preparación del terreno no son favorables, para comparar el potencial biológico entre lotes similares, o incluso para tomar en cuenta el tiempo de almacenaje de un lote de semillas (Moreno, 1996; Flores, 2004; Muñoz, 2008; Espinosa et al., 2009; ISTA, 2010).

La calidad biológica o fisiológica puede ser considerada bajo diferentes puntos de vista de diferentes autores, como se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Definiciones de Calidad Biológica o fisiológica

Autor	Concepto
FAO, 2011	Se refiere a aspectos del desempeño de la semilla para emerger del suelo y producir una planta en el campo bajo condiciones normales.
*LFPCyCS, 2007	Medida de la capacidad de la semilla para producir material de propagación fisiológicamente viable, se expresa como el porcentaje de semilla fisiológicamente viable, con respecto al total de la muestra de un lote de semillas.

Flores, 2004	Es lo que hace a una semilla ser una unidad biológica o unidad de reproducción. Ésto es, que sea viable, que tenga capacidad de germinación y eficiente establecimiento en campo.
Terenti, 2004	Es la capacidad de la semilla para germinar, emerger y dar origen a plantas uniformes y vigorosas.

Elaboración propia, 2016. *LFPCyCS (Ley federal de producción, certificación y comercio de semillas)

4.8.2. Calidad sanitaria

Las enfermedades causadas por hongos y transmitidas por semillas son uno de los factores que provocan el deterioro de la calidad biológica, física y sanitaria de la misma, además de las condiciones climáticas anteriores a la cosecha, la madurez de la semilla, el daño mecánico, entre otras causas (Warham *et al.*, 1996), lo que representa una importante amenaza para la producción de alimentos. Sin embargo, en cada uno de los cultivos de importancia económica, son muchas las enfermedades que se transmiten por este medio (Moreno, 1996). Naturalmente las semillas son portadoras de una micobiota, que puede afectar o no a la calidad de la misma.

El análisis de la micobiota en semillas es de suma importancia, pues nos permite evaluar la incidencia de los hongos transmitidos por las semillas que pueden afectar la germinación, la viabilidad y el vigor, así como cambios en las características físicas, como la coloración de la semilla, cambios en su composición bioquímica, o incluso la posibilidad de producción de micotoxinas (Tadeo *et al.*, 2009).

Existen múltiples conceptos acerca de la calidad sanitaria (Cuadro 7).

Cuadro 7. Definiciones de calidad sanitaria

Autor	Concepto
FAO, 2011	Se refiere a la presencia o ausencia de enfermedades o plagas dentro del lote de semillas.
*LFPCyCS, 2007	Medida de la sanidad de la semilla que evalúa y determina la presencia o ausencia de organismos patógenos en el lote de semillas.
Flores, 2004	Condición de la semilla con relación a la presencia de microorganismos patógenos (hongos, bacterias, virus), los cuales pueden acompañar a la semilla (masas de esporas, etc.), asociados a la superficie de la misma (capas de esporas de hongos de almacén) o portados internamente.
Terenti, 2004	Esta actividad debe estar complementada en la etapa de producción de semilla, utilizando semilla original sana, sanidad de los lotes de producción, rotación de cultivos, aislamiento, tratamiento de la semilla, acondicionamiento y almacenamiento adecuado.

Elaboración propia, 2016. *LFPCyCS (Ley federal de producción, certificación y comercio de semillas)

Los hongos son los patógenos más importantes de las plantas, y también en cuanto a patógenos acarreados en las semillas. Los hongos que se desarrollan en las semillas pueden causar diferentes tipos de daños, si la infección es severa, ésta puede causar la muerte del embrión, como es el caso de algunas especies de *Fusarium*. Cuando la infección es menor, las semillas no pierden su capacidad de germinación, pero el vigor si puede verse afectado. Cuando la semilla es portadora del patógeno y ésta llega a germinar, el patógeno también comienza a desarrollarse al encontrar las condiciones adecuadas para ello, por la alta humedad que se encuentra en el suelo, así como la temperatura.

Algunos hongos presentes en las semillas causan la pudrición de la misma y la marchitez de las plántulas (Moreno, 1996).

Los hongos en granos y semillas se han dividido ecológicamente en tres grupos de acuerdo a Christensen y Kaufmann (1969).

- **Hongos de campo**

Los hongos de campo son capaces de causar el desarrollo de enfermedades foliares, de tallo, de frutos, deterioro del grano o semilla, reduciendo la cantidad y calidad de las cosechas.

Algunos de los principales hongos encontrados en las semillas son de los géneros *Fusarium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Stemphylium*, *Epicoccum* y *Helminthosporium*; pudiendo ocasionar la decoloración del grano o semilla (Figura 15), requieren de humidades relativas mayores de 90% para su crecimiento (Moreno, 1996; Tadeo *et al.*, 2009).



Figura 15. Decoloración de la semilla causada por hongos.

- **Hongos de almacén**

Los daños causados por hongos de almacén son mayores que los ocasionados por hongos de campo, se desarrollan principalmente bajo condiciones de baja humedad relativa, después de la cosecha, durante el transporte, durante un secado lento, el almacenamiento y el procesamiento de las semillas.

A diferencia de los hongos de campo, la principal característica de los hongos de almacén, principalmente especies de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, es su habilidad para invadir semillas con contenidos de humedad relativamente bajos de 65 a 70%, en lo referente al cártamo en contenidos de humedad entre un 5 y 6% (Moreno,1996).

Una de las pruebas más utilizadas para el aislamiento de hongos en granos y semillas, es la placa agar (Figura 16). Los medios de cultivo más comunes para el aislamiento de hongos de campo y almacén son los agares de papa dextrosa (PDA) y el extracto de malta sal (MSA). El PDA es un medio favorable para el desarrollo de muchos hongos y es utilizado para cultivar hongos patógenos de plantas, como lo es *Fusarium*, *Helminthosporium*, *Alternaria*, *Phoma*, *Epicoccum*, entre otros.



Figura 16. Aislamiento de *F. oxysporum* en placa agar. 2016

- **Hongos de deterioro avanzado**

Algunos hongos como *Chaetomium*, *Rhizopus*, *Mucor*, algunas especies de *Aspergillus*, entre otros, pueden llegar a invadir los granos y las semillas, que han estado bajo malas condiciones de almacenamiento; estos hongos son causantes de deterioro avanzado, se desarrollan en semillas almacenadas en humedades relativas altas, superiores al 90% (Christensen y Kaufmann, 1969; Moreno, 1988).

4.8.3. Calidad física

La calidad física se compone de tres aspectos importantes para su evaluación (Moreno, 1996; FAO, 2011).

- **Pureza física.** Es el porcentaje de semilla intacta de la especie nombrada en la etiqueta. Libre de semillas de otras especies, semillas de malezas o materia inerte.
- **Contenido de humedad.** Cantidad de agua contenida libremente en la semilla que se remueve por medio del secado.
- **Tamaño de la semilla.** El tamaño real y uniforme está relacionado con la efectividad de las operaciones de acondicionamiento y con el comportamiento posterior en campo (en algunos trabajos se indica una estrecha correlación positiva entre el tamaño y vigor) (Flores, 2004), las semillas maduras medianas y grandes tendrán generalmente mayor germinación y vigor que las semillas pequeñas e inmaduras. En el acondicionamiento (procesamiento) de un lote de semillas, las semillas más pequeñas y livianas son normalmente eliminadas, pues se asocian generalmente con las deficiencias en las condiciones de producción.

Cuadro 8. Definiciones de calidad física

Autor	Concepto
FAO, 2011	Se relaciona con la uniformidad de un lote de semillas, la magnitud del contenido de materia inerte, contenido de semillas dañadas, semillas de malezas y tamaño de la semilla.
*LFPCyCS, 2007	Medida de la pureza física de la semilla, se expresa como el porcentaje de peso que corresponde a la semilla de la especie, con respecto al peso total de la muestra de un determinado lote.
Flores, 2004	Este componente de calidad involucra diferentes características físicas que indican el grado de contaminación del lote de semillas, lo que refleja las condiciones de producción en campo.
Terenti, 2004	Se le asocia con el color, brillo, daños mecánicos (fracturas, cuarteos), la presencia o ausencia de cualquier contaminante distinta a la semilla deseable. Estos contaminantes pueden ser: materiales inertes, semillas de malezas comunes, nocivas, formas reproductivas de plagas y enfermedades.

Elaboración propia, 2016. *LFPCyCS (Ley federal de producción, certificación y comercio de semillas)

De acuerdo con Tadeo *et al.*, (2009) cuando los granos o semillas alcanzan la madurez (máximo punto de calidad fisiológica) y han sido cosechados, hay que eliminar ciertos elementos que reducen la calidad, como el exceso de humedad, restos de plantas, otras semillas diferentes a las de interés, impurezas (como tierra, piedras, etc.), granos picados o cuarteados (pues es más probable que éstos sean atacados por insectos u otros microorganismos) o semillas con daños por insectos, entre otros. Su preservación va a depender en gran medida del muestreo, clasificación, selección, la limpieza, el secado y las condiciones en que se almacenen las semillas.

4.8.4. Calidad genética

Dentro de las especies de cultivo como el maíz, el arroz o el cacahuate, hay miles de tipos distintos, los cuales son referidos como “variedades” o “cultivares”. Las plantas de una variedad producidas por semillas presentan las mismas características, las cuales son reproducibles de una generación a la otra. La definición de un cultivar se refiere a una colección de plantas cultivadas que puede ser claramente distinguida por cualquier característica (morfológica, fisiológica, citológica, química u otras) y la cual, cuando se reproduce (sexual o asexualmente), mantiene sus características distintivas (FAO, 2011).

Cuadro 9. Definiciones de calidad genética

Autor	Concepto
FAO, 2011	Se relaciona a las características genéticas específicas de la variedad de semilla.
*LFPCyCS, 2007	Medida de la identidad genética de la semilla, se expresa como el porcentaje de semillas viables que se identifican con respecto a los caracteres pertinentes de la variedad vegetal.
Flores, 2004	Es el resultado del trabajo del fitomejoramiento y le confiere un valor agronómico a la variedad que se expresa en mayor rendimiento, mayor resistencia a plagas y enfermedades, mayor uniformidad, mayor rango de adaptación, calidad específica en sus productos, etc.
Terenti, 2004	Se produce en la etapa de mejoramiento genético y está orientada a obtener variedades e híbridos de mayor productividad, precocidad, adaptabilidad, calidad de grano, mayor eficiencia en el uso de agua, nutriente, etc. Que permitan asegurar la identidad y pureza genética evitando la degeneración del genotipo.

Elaboración propia, 2016. *LFPCyCS (Ley federal de producción, certificación y comercio de semillas)

4.9. Agentes que afectan la calidad del cártamo

Existen factores abióticos como la lluvia, que repercuten de manera negativa al cultivo de cártamo durante la floración y el llenado de grano, pues propicia el desarrollo de enfermedades fungosas (Valadez, 2009). Otro factor importante es el uso de prácticas agronómicas, por ejemplo, una deficiente preparación del terreno, si esta labor no se hace de manera correcta en el suelo, no se podrán eliminar las plagas como la gallina ciega y también como semillas de malezas; las siembras fuera de tiempo, cuando el cultivo se siembra en fechas más tempranas que las recomendadas, se exponen más a los daños por heladas; además, la planta desarrolla un área foliar muy exuberante, aumenta la altura de planta que provoca el acame, el ciclo vegetativo se alarga, y el cultivo queda expuesto al ataque de enfermedades y plagas. Cuando se siembra en fechas posteriores a las recomendadas (Cuadro 3), el desarrollo de la planta es muy pobre, ya que su periodo de “roseta” se acorta por efecto de las altas temperaturas y disminuye el número de ramas que darán origen a los capítulos y por consecuencia el rendimiento se verá afectado. Las densidades de población no recomendadas para la variedad también representan otro factor negativo, en densidades menores se corre el riesgo que la población se vea afectada por el ataque de gusanos trozadores o barrenador del tallo. También la baja densidad provoca engrosamiento del tallo, lo que genera inconvenientes durante la trilla. En densidades mayores, el tallo de la planta se desarrolla débil, induciendo al acame, provocando la reducción en el rendimiento. En las parcelas con alta densidad, el dosel de las plantas rápidamente cubre el área, creándose un microclima de alta humedad, el cual induce a que desarrollen los patógenos causantes de roya, falsa cenicilla y tizones. El manejo inadecuado de la fertilidad del suelo, en cuanto al uso de fertilizantes, dosificación y aplicación, son factores que restringen el correcto desarrollo del cultivo, lo que implica la limitación del potencial productivo del cultivo de cártamo (Muñoz, 2008; Borbón *et al.*, 2010; Montoya, 2010; Valadez, 2011).

Por otra parte entre los agentes bióticos que afectan al cultivo de cártamo podemos mencionar a las malezas como zacate Johnson (*Sorghum halepense* L.), insectos como las chinches lygus (*Lygus lineolaris*) y chinche rápida (*Greontiades spp.*), se presentan normalmente desde la emergencia hasta la fructificación, el punto crítico del ataque de estas especies se centra durante la floración pues los adultos y ninfas chupan los botones florales y las cabezuelas tiernas, ocasionando que éstos aborten o el avanamiento (Robles, 1982).

El principal problema fitosanitario en el cultivo de cártamo, son las enfermedades causadas por hongos, como la roya del cártamo, el tizón o mancha foliar, y actualmente la falsa cenicilla (Silveira *et al.*, 2009), que traen como consecuencia un impacto negativo en el rendimiento. A continuación se describen las enfermedades de mayor importancia económica:

- **Falsa cenicilla.** Esta enfermedad es causada por *Ramularia carthami* y es la principal enfermedad a nivel nacional para el cártamo. Generalmente el daño inicia en la parte inferior de la planta, aunque puede manifestarse en cualquier parte de la misma y el avance es ascendente. Infecta hojas, peciolo, brácteas (Figuras 17 y 18) y algunas partes del tallo. Se manifiesta en forma de manchas circulares de hasta 1 cm de diámetro con un aspecto blanquecino; conforme se va desarrollando la enfermedad aparece un halo clorótico que después se torna amarillo, el tejido del centro de la lesión toma un color café claro oscuro. Esta enfermedad ataca a todas las variedades comerciales de cártamo que se siembran actualmente en México (Borbón *et al.*, 2010; Montoya, 2010).



Figura 17. Falsa cenicilla (*Ramularia carthami*), en hojas (Borbón *et al.*, 2010).



Figura 18. Falsa cenicilla (*Ramularia carthami*) en capitulo floral (Montoya, 2010).

- **Mancha de la hoja.** Causada por *Alternaria carthami*, representa la segunda enfermedad de mayor importancia económica. Ataca a la planta desde su etapa de roseta hasta el llenado de grano, este patógeno está relacionado con la disminución de la calidad del grano o semilla de cártamo. Los primeros síntomas aparecen en las hojas inferiores como pequeñas manchas irregulares de color café con anillos concéntricos (Figura 19), éstas van creciendo a medida que el hongo va afectando el tejido de las hojas, hasta provocar la defoliación; cuando ataca los capítulos florales la pérdida de la producción puede ser total (Borbón *et al.*, 2010; Montoya, 2010).

La semilla infectada (Figura 20) con este hongo puede provocar la reducción de la germinación, debido a la pudrición que causa. En caso de germinar, las plántulas pueden sufrir secadera o enfermedad de los almácigos. La temperatura óptima para su desarrollo es de 25 a 30°C, y se ve favorecido por la presencia de lluvias y humedad relativa alta (Mündel *et al.*, 2004).

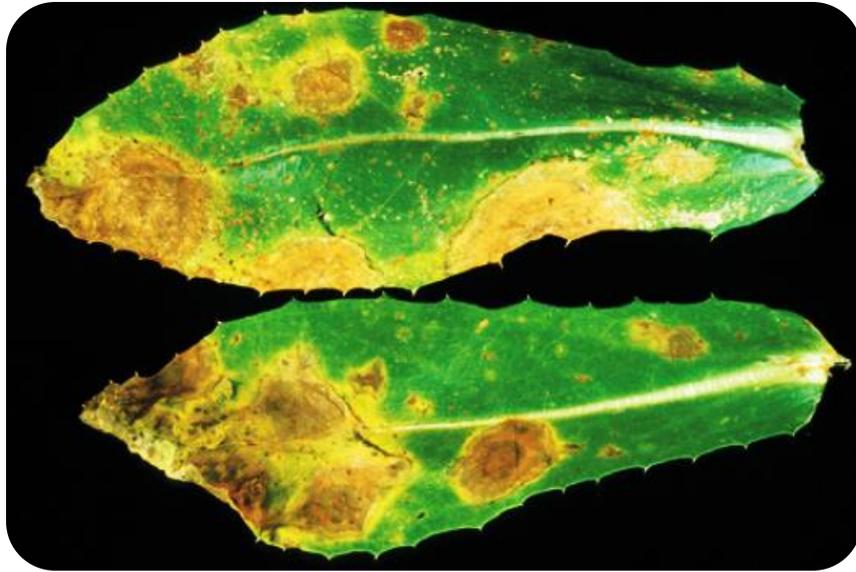


Figura 19. Mancha de la hoja por *Alternaria carthami*.
(Mündel *et al.*, 2004).



Figura 20. Semillas de cártamo infectadas por *Alternaria* (izq.) y semillas sanas (derecha) (Mündel *et al.*, 2004).

- **Mancha plateada de la hoja.** *Stemphyllium solani* es el agente causal de la mancha plateada. Los síntomas de esta enfermedad se presentan en forma de manchas pequeñas de color gris, en las hojas y también en las brácteas. Las altas temperaturas y humedad alta favorecen su desarrollo; en el estado de Tamaulipas se reporta como una enfermedad de mayor incidencia en la región (Robles, 1982; Montoya, 2010).
- **Marchitez.** Cuando la marchitez es provocada por *Fusarium oxysporum* los síntomas son característicos, presenta un amarillamiento en las hojas inferiores y avanza de manera ascendente hasta lograr el marchitamiento en un solo lado de la planta, cuando ataca a plantas jóvenes éstas mueren y en plantas más maduras pueden morir o solo afectar las ramas del lado infectado. El hongo penetra por las raíces y se va extendiendo hacia el tallo, las ramas y hojas (Robles, 1982; Montoya, 2010).
- **Pudrición de la raíz.** Es provocada por *Phytophthora drechsleri* Toker, las plantas son susceptibles a este patógeno en todas las etapas de su desarrollo. Los síntomas consisten en un marchitamiento general de la planta. Al inicio de la infección las raíces adquieren un color rojizo, después se presenta un oscurecimiento gradual en raíces y la parte inferior del tallo, hasta que toman un color negro, después de esto la planta muere (Robles, 1982; Borbón *et al.*, 2010). El hongo puede persistir en el suelo y cuando se presentan condiciones favorables inicia nuevamente su desarrollo, por ejemplo, si la planta presenta síntomas de estrés por sequía y el suelo presenta grietas por falta de humedad, y después se aplica un riego tardío, las esporas que estaban en el suelo empiezan a ser liberadas conforme el suelo se va saturando (Robles, 1982; Borbón *et al.*, 2010; Montoya, 2010).

- **Tizón del capítulo.** Este tizón es provocado por *Botrytis cinerea* Pers. Esta especie se presenta comúnmente en zonas con humedad relativa alta. Las inflorescencias afectadas adquieren un tono verde claro y se van decolorando gradualmente hasta tomar un color blanquecino, y los capítulos pueden llegar a desprenderse fácilmente. Como resultado de la infección (depende del grado de afectación), la semilla puede presentar poco peso, y vana. Las esporas de este patógeno se diseminan por el viento. La infección se puede presentar desde el inicio del botón floral hasta la maduración del capítulo floral (Robles, 1982; Montoya, 2010).
- **Roya o chahuixtle del cártamo.** Causada por *Puccinia carthami*, esta enfermedad se presenta en el cultivo de cártamo en los estados de Sinaloa y Sonora. La infección puede provenir de dos fuentes: 1) Del suelo donde puede permanecer de un año a otro. 2) De las semillas: ya que éstas pueden ser portadoras de teliosporas.

Los síntomas se presentan principalmente en forma de pequeñas pústulas de color café oscuro en las hojas y brácteas (Figura 21). Cuando la enfermedad se presenta en la etapa de plántula, el síntoma principal es una lesión café rojiza alrededor del cuello de la raíz, esta causa grietas y estrangulamiento; las plantas se marchitan, se doblan y mueren (Borbón *et al.*, 2010; Montoya, 2010; Robles, 1982).



Figura 21. Hojas de cártamo afectadas por Roya o chahuixtle, grado de infección de menor a mayor (Mündel *et al.*, 2004)

4.10. Métodos para el control de hongos fitopatógenos en cártamo

Las plagas y enfermedades en el cultivo de cártamo, generalmente no habían sido consideradas de gran impacto en la producción regional de Tamaulipas (Valadez, 2011). Sin embargo, con el constante cambio de la situación medioambiental de los últimos años, se ha creado un escenario diferente donde el problema fitosanitario se ha tornado como una de las causas de los siniestros masivos, ya no solo del estado, también en otros estados de la República Mexicana donde se produce esta oleaginosa. Ante esta realidad se demanda una mayor atención para implementar medidas preventivas y de control, para enfrentar los problemas que se están originando. En el Cuadro 10 se muestran las medidas de prevención y control para las enfermedades de importancia económica en el cultivo de cártamo.

Cuadro 10. Métodos de prevención y control de enfermedades del cártamo

Enfermedad	Agente causal	Control o prevención
Roya o chahuixtle del cártamo	<i>Puccinia carthami</i>	El uso de semilla certificada ayuda a reducir la incidencia de esta enfermedad, además del tratamiento de la semilla.
Falsa cenicilla	<i>Ramularia carthami</i>	Aplicaciones preventivas deben iniciarse antes de la aparición de síntomas con Mancozeb 2 L/ha desde la etapa de elongación del tallo. Las aplicaciones curativas deben realizarse al observar los primeros síntomas en las hojas inferiores de la planta, con Carbendazim (511 g.i.a/L) a dosis de 5 L/ha.
Mancha de la hoja	<i>Alternaria carthami</i>	Usar semillas de las variedades recomendadas y tratadas con fungicidas a razón de 1 Kg, por cada 100 Kg de semilla, lo cual protegerá a la planta en sus primeras etapas de desarrollo.
Mancha plateada de la hoja	<i>Stemphyllium solani</i>	
Marchitez	<i>Fusarium oxysporum</i> <i>Pythium sp.</i> <i>F. moniliforme</i>	La nivelación adecuada del terreno permitirá un buen drenaje y consecuentemente minimizar el problema de dichas pudriciones. También se sugiere utilizar semilla certificada y evitar siembras en lotes con antecedentes de la enfermedad. Realizar rotación de cultivo.
Pudrición de la raíz	<i>Phytophthora drechsleri</i>	No sembrar cártamo en terrenos con mal drenaje, evitar encharcamientos, no realizar riegos pesados y llevar a cabo una buena nivelación del terreno.
Tizón del capítulo	<i>Botrytis cinerea</i>	La prevención de esta enfermedad se puede llevar a cabo sembrando dentro de las fechas recomendadas, seleccionando variedades tolerantes y aplicación de fungicidas a base de Mancozeb.

Fuente: Robles, 1982; Mündel *et al.*, 2004; Borbón *et al.*, 2010; Valadez, 2015. (Elaboración propia, 2016)

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Material biológico

Las semillas de cártamo de las variedades Guayalejo y RC-1033-L con las que se trabajó en este estudio, fueron cultivadas con productos de bajo impacto ambiental, para mejorar el rendimiento, en el Campo Experimental “Las Huastecas” del Centro de Investigación Regional Noreste (CIRNE) perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Km.55 Carr. Tampico-Mante, Villa Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas, en el ciclo de producción O-I, 2011-2012.

De las dos variedades cosechadas se utilizaron 8 muestras de 500 g de semillas de cártamo; el cultivo de éstas fue tratado con aplicaciones de productos de bajo impacto ambiental de origen vegetal, mineral y químico, mencionados a continuación:

Muestra	Tratamiento aplicado al cultivo
M0	Testigo (Sin aplicación).
M1	Aceite de Neem (<i>Azadirachta indica</i>).
M2	<i>Bacillus subtilis</i> .
M3	Solución de gobernadora (<i>Larrea tridentata</i>).
M4	Caldo sulfocálcico.
M5	Bicarbonato de sodio.
M6	Carbendazim
M7	Fosfito de calcio más microelementos.

Al material biológico se le realizaron las pruebas de germinación estándar, vigor, micobiota y de sintomatología en plántulas.

5.2. Prueba de germinación estándar

La prueba de germinación estándar indica la capacidad de las semillas de producir plántulas normales y sanas, aptas para establecerse en campo, también permite comparar el poder germinativo entre diferentes lotes de semillas aun siendo de la misma especie (ISTA, 2010).

Para llevar a cabo la prueba se efectuaron 4 repeticiones de 50 semillas cada una, para las 8 muestras y las dos variedades de cártamo (Guayalejo y RC-1033).

La prueba de germinación estándar para las semillas de cártamo se realizó de la manera siguiente: se utilizaron hojas de papel tipo anchor, en cada una de ellas se colocó en la parte media de manera horizontal una tira de cinta adhesiva (masking tape) y se procedió a colocar 50 semillas por cada hoja, de tal manera que el embrión apuntara hacia abajo, de acuerdo a la morfología propia de la semilla del cártamo, consecutivamente se procedió a cubrirla con otra hoja tipo anchor previamente humedecida. Una vez empatadas ambas hojas ya con la semilla, se enrollaron en forma de taco; se identificaron (variedad, muestra, fecha y número de repetición) y se metieron en una bolsa de plástico perforada de ambas esquinas inferiores, posteriormente se colocaron en una incubadora marca Precision Scientific, modelo MFU20F3BW, a una temperatura de 25°C.

La primer lectura se realizó al cuarto día y la segunda y última, al décimo cuarto día, los resultados se expresaron en porcentaje de semillas germinadas, anormales, muertas y duras de acuerdo a la ISTA (2009).

5.3. Prueba de longitud media de plántula (Vigor)

La prueba de longitud media de plántula, usualmente se utiliza para determinar el vigor en semillas de cereales como cebada, trigo y maíz (plúmula); sin embargo, también puede ser aplicable a las plántulas que presentan plúmula recta (en el caso de los cereales) o bien raíces no ramificadas, como en este caso las del cártamo (Moreno, 1996). El vigor se expresa con base a la longitud que alcanza la plántula durante 7 días, en condiciones de alta humedad y ausencia de luz.

Esta prueba se hizo para conocer el vigor de las semillas de cártamo para ambas variedades y las respectivas muestras tratadas con 8 productos de bajo impacto ambiental durante su cultivo. La prueba se elaboró de la manera siguiente: se usaron hojas dobles de papel tipo anchor, en una de las hojas se marcó una línea horizontal indicando la parte media de la hoja, igualmente se marcaron cinco líneas consecutivas paralelas a la línea central, con una distancia de 2 cm entre línea y línea, las cuales se dibujaron hacia la parte superior de la hoja. Posteriormente en la línea central se colocó una tira de cinta adhesiva (masking tape) y se pegaron 50 semillas por cada hoja rayada, de tal manera que el embrión apuntara hacia abajo, consecutivamente se procedió a poner 3 hojas tipo anchor previamente humedecidas, una debajo de la hoja rayada y las otras dos para cubrir las semillas anteriormente pegadas. Una vez cubiertas las semillas, se hizo un doblez de aproximadamente 2 cm en la parte basal de las hojas ya empatadas y se procedió a enrollar en forma de taco y se identificó cada uno de ellos, se elaboraron 4 repeticiones, por cada muestra y variedad, se colocaron en una bolsa de plástico perforada de ambas esquinas inferiores y se incubaron a 25°C, durante 14 días sin luz (ISTA, 2010).

En esta prueba se evaluó el vigor, donde se contaron solo las plántulas normales para obtener la longitud media de las mismas, la cual fue calculada por la fórmula siguiente:

$$L = \frac{(nx1 + nx2 + nx3 + \dots \dots nxn)}{50}$$

En donde: **L**=longitud media de la plántula

n= número de plántulas entre cada par de paralelas

x= la distancia media desde la línea central

5.4. Prueba de micobiota

La prueba de la micobiota se llevó a cabo por medio de la técnica de placa agar de acuerdo a Mathur y Kongsdal (2013), utilizando como medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) (Bioxon®, Becton Dickinson S.A. de C. V.). Se sembraron 2 lotes de semillas, el primero de ellos fueron semillas sin desinfección superficial y el segundo semillas con desinfección superficial con hipoclorito de sodio al 3%, las semillas se sumergieron en esta solución durante 1 minuto en constante agitación, después se procedió al secado de la semilla en toallas de papel previamente esterilizadas.

Para la determinación de la micobiota presente en las semillas de cártamo con y sin desinfección de las variedades Guayalejo y RC 1033-L, se sembraron en las cajas de Petri con PDA y se procedió a colocar 20 semillas por placa de agar, sembrando un total de 100 semillas para cada una de las 8 muestras y las dos variedades.

Las cajas de Petri con las semillas fueron incubadas a una temperatura de 25°C, durante 5 días en una incubadora Precision Scientific, modelo MFU20F3BW.

Después se procedió a la cuantificación y aislamiento de los hongos presentes en las semillas con y sin desinfección, la identificación de los hongos se llevó a cabo considerando las características morfológicas a nivel género, siguiendo las claves de Barnett y Hunter (1999).

Para los géneros *Alternaria* y *Fusarium* se siguieron las claves especializadas de Simmons (2007) y Leslie y Summerell (2006), respectivamente.

De acuerdo a Simmons (2007), para la identificación de las diferentes especies de *Alternaria* se utilizaron los medios de cultivo Papa Zanahoria Agar (PZA) y Jugo de vegetales V8 Agar (V8). Para las cepas de *Alternaria* previamente aisladas y purificadas en PDA, cada grupo se sembró por duplicado, una muestra en PZA y la otra en V8 agar, éstas se incubaron a 25°C durante 7 días, con ciclos alternos de 8 horas de luz blanca fluorescente (lámparas Philips®, 21W/33), por 16 horas de oscuridad.

Se describió la macromorfología y micromorfología de las colonias y se elaboraron preparaciones semipermanentes con lactofenol, para observar las estructuras microscópicas e identificar las especies de hongos de acuerdo a las claves de Simmons (2007).

Para el caso de identificación de especies de *Fusarium*, los medios de cultivo que se utilizaron fueron hoja de Clavel Agar (CLA) e Infusión Papa Dextrosa Agar (IPDA), de acuerdo a Leslie y Summerell (2006). Las cepas previamente aisladas en IPDA y purificadas en cultivos axénicos, también se sembraron en cada uno de los medios de cultivo antes mencionados: de manera aséptica se tomó una asada del hongo, y se introdujo en un vial (con agar al 0.2% y 0.05% de tween), se tapó y se procedió a homogeneizarlo en el Vortex (Scientific Industries®, modelo G-560), durante 10 segundos, después con una micropipeta se tomó una alícuota de 3 µL de la suspensión y se colocó al centro de la placa agar, más tarde se incubaron las cajas de Petri con las alícuotas de los aislamientos y se alternaron períodos de 12 horas de luz blanca (lámparas Philips®, 21W/33) y negra a 25°C,

colocando las cepas a 40 cm debajo de las lámparas, durante 7 días. A partir de las 72 horas de incubación, se comenzaron a realizar mediciones de la colonia así como la determinación de las características morfológicas. Para la identificación de las especies se realizaron preparaciones semipermanentes con azul de algodón lactofenol para observar la micromorfología y hacer mediciones de las diferentes estructuras en el microscopio compuesto (OLYMPUS®, MODELO BH-2) y se siguieron las claves especializadas propuestas por Leslie y Summerell (2006).

Una vez identificada la microbiota presente en las semillas de cártamo de las variedades Guayalejo y RC 1033-L, con y sin desinfección, se realizó el cálculo de la frecuencia y densidad relativa de los géneros presentes, mediante las siguientes formulas usadas por González *et al.* (1997):

- **Frecuencia de aislamiento (%)**

$$\alpha = \left(\frac{\beta}{\gamma} \right) \times 100$$

Dónde:

α = Frecuencia de aislamiento expresada en porcentaje.

β = Número de muestras con la presencia del género.

γ = Número total de muestras.

- **Densidad relativa (%)**

$$\alpha = \left(\frac{\beta}{\gamma} \right) \times 100$$

Dónde:

α = Densidad relativa expresada en porcentaje.

β = Número de aislamientos de un género o especie.

γ = Número total de hongos o géneros aislados.

5.5. Prueba de sintomatología en plántulas

La prueba de sintomatología se llevó a cabo de acuerdo a Mathur y Kongsdal (2013), en tubos de ensaye con medio de cultivo agua agar al 1%, los tubos se llenaron con 10 ml del medio de cultivo, se esterilizaron a 121°C, 15 libras de presión por 20 minutos y se dejaron solidificar con una inclinación de un ángulo de aproximadamente 30°.

Se utilizaron 20 semillas por cada una de las muestras, para las dos variedades de cártamo, Guayalejo y RC-1033-L.

En cada tubo de ensaye se colocó una semilla, y se incubaron a 20°C en una incubadora Precision Scientific, modelo MFU20F3BW, durante 14 días bajo ciclos alternos de luz artificial y oscuridad. Posteriormente se realizó la evaluación de las plántulas (Figura 22).

De acuerdo a la prueba, para la descripción de la misma los resultados se separaron en 3 grupos: 1) Plántulas sanas, 2) Plántulas con algún síntoma, 3) Semillas que no germinaron con presencia de hongos. Los resultados fueron expresados en porcentaje.

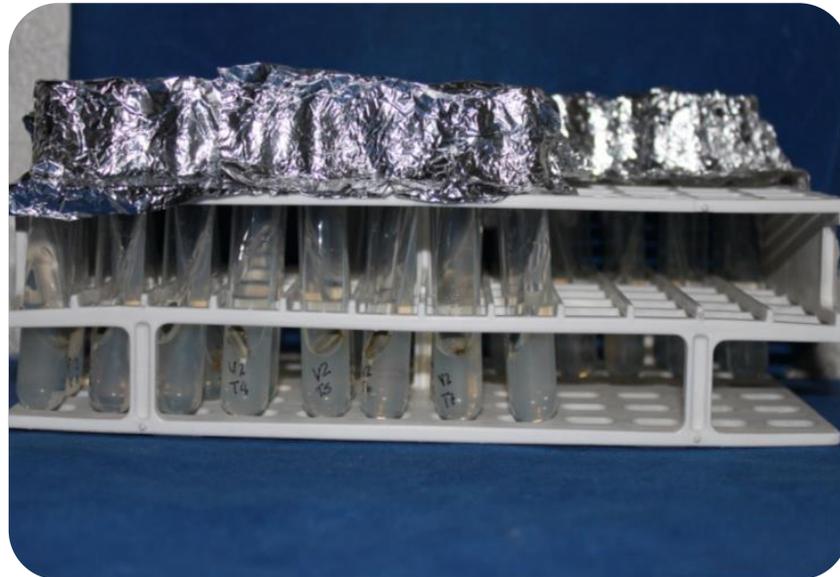


Figura 22. Prueba de sintomatología por el método de tubo agar.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Análisis de la prueba de germinación estándar

Los resultados de la prueba de germinación estándar para las semillas de la variedad Guayalejo se pueden observar en el Cuadro 11; se encontró que las muestras M2, M3, M5 y M7 fueron las que presentaron un porcentaje de germinación más alto con respecto al testigo, obteniendo una germinación de 66.0, 63.5, 76.0 y 65.5 %, respectivamente, mostrando una tendencia la muestra M5 (semillas procedentes del cultivo con aplicaciones de bicarbonato de calcio) en conservar un mayor porcentaje de germinación del 76% ligeramente menor al mínimo requerido para la germinación de semilla de cártamo del 80% de acuerdo a las reglas de calificación para semillas de cártamo (SNICS, 2014) . Mientras que la muestra M6 (semillas procedentes del cultivo con aplicaciones de Carbendazim), resultó ser el que presentó el menor porcentaje de germinación. Lo cual se ve reflejado en las semillas que presentaron un desarrollo anormal encontrando que la muestra M5 presentaron el menor porcentaje, del 11.0%, mientras que la M6 el 57.0%. Con respecto a las semillas duras no se encontraron diferencias significativas con respecto al control, pero en el número de semillas muertas se observó una diferencia significativa con relación al control, siendo la muestra M5 la que presentó mayor porcentaje de semillas muertas.

Cuadro 11 .Germinación estándar de semillas de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) variedad Guayalejo, procedentes de cultivos tratados con producto de bajo impacto ambiental

MUESTRA	GERMINACIÓN NORMAL (%)		ANORMALIDADES (%)		SEMILLAS DURAS (%)	SEMILLAS MUERTAS (%)		
M0	58.0	ab	39.0	ab	2.0	a	1.0	b
M1	55.5	ab	33.5	abc	6.5	a	4.5	ab
M2	66.0	a	20.5	bc	6.5	a	7.0	ab
M3	63.5	a	24.5	bc	4.0	a	8.0	ab
M4	59.0	ab	31.0	bc	7.0	a	3.0	ab
M5	76.0	a	11.0	c	4.0	a	9.0	a
M6	32.0	b	57.0	a	6.0	a	5.0	ab
M7	65.5	a	21.5	bc	9.5	a	3.5	ab
DHS	28.9		25.8		8.5		7.7	

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (DHS, $P \geq 0.05$); M0 Testigo; M1 Aceite de Neem; M2 *Bacillus subtilis*; M3 Solución de Gobernadora; M4 Caldo sulfocálcico; M5 Solución al 1% de bicarbonato de sodio; M6 Carbendazim; M7 Fosfito de calcio.

En el Cuadro 12 se muestran los resultados de germinación en porcentaje para la variedad RC-1033-L, en donde se puede observar que las muestras M7 y M3 (procedentes de cultivos tratados con solución de gobernadora y fosfito de calcio, respectivamente) fueron las que presentaron los mayores porcentajes de germinación de 81.5 y 80.5% correspondientemente, de acuerdo al límite mínimo permitido del 80% por el SNICS (2014), en comparación con el control del 43.0%. Observándose también en estas muestras el menor número de semillas con plántulas anormales (9.0 y 8.55%), respectivamente. En relación con las semillas muertas y duras no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en comparación al control.

Cuadro 12. Germinación estándar de semillas de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) variedad RC-1033-L, procedentes de cultivos tratados con producto de bajo impacto ambiental

MUESTRA	GERMINACIÓN NORMAL (%)		ANORMALIDADES (%)		SEMILLAS DURAS (%)		SEMILLAS MUERTAS (%)	
M0	43.0	d	44.0	a	6.5	a	6.5	a
M1	45.5	d	38.0	a	6.0	a	10.5	a
M2	54.5	dc	35.0	a	4.5	a	6.0	a
M3	80.5	ab	8.55	d	6.5	a	4.5	a
M4	70.5	abc	21.0	abc	5.0	a	3.5	a
M5	58.0	bcd	32.0	ab	5.5	a	4.5	a
M6	53.5	dc	33.0	a	7.5	a	6.0	a
M7	81.5	a	9.0	bc	3.5	a	6.0	a
DHS	22.8		23.23		7.61		7.17	

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (DHS, $P \geq 0.05$); M0 Testigo; M1 Aceite de Neem; M2 *Bacillus subtilis*; M3 Solución de Gobernadora; M4 Caldo sulfocálcico; M5 Solución al 1% de bicarbonato de sodio; M6 Carbendazim; M7 Fosfito de calcio.

Las reglas de calificación de semillas de cártamo establecidas por el SNICS (2014) sugieren que el porcentaje de germinación mínimo para esta especie es del 80%, de modo que las muestras M3 y M7 de la variedad RC-1033-L, cumplen con esta especificación y el resto no.

La ISTA (2010) indica que existen factores internos y externos que afectan la germinación. Los externos incluyen las condiciones climáticas durante la germinación, mientras que los factores internos tienen que ver con la historia de cada semilla de manera individual; también indica que la humedad relativa alta durante la formación de la semilla favorece el desarrollo y propagación de microorganismos como hongos. Estas circunstancias se presentaron durante la cosecha de las semillas de cártamo evaluadas en esta investigación, debido a la presencia de lluvias erráticas, probablemente éste factor influyo en el desarrollo y propagación de los hongos identificados en la micobiota, mismos que alteraron las

características físicas de las semillas y sobre todo la germinación normal, incluso provocaron la muerte de algunas de ellas.

Durante la prueba de germinación se encontraron semillas duras, éstas son conocidas como aquellas que no germinan al final de la prueba, pues no absorben agua a causa de su cubierta que puede ser impermeable; y las semillas muertas son consideradas aquellas que no germinaron y no se consideran como duras (Moreno, 1996).

Existe un grupo de hongos que afectan la germinación de las semillas, entre los que se incluyen los géneros *Alternaria*, *Aspergillus*, *Curvularia*, *Drehsclera*, *Helminthosporium*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Rhizoctonia*, *Verticillium*, entre otros. *Alternaria* juega un papel importante en el deterioro de las semillas (Rathod y Chavan, 2010). Este patógeno provoca una amplia gama de enfermedades de importancia económica en un gran número de plantas cultivadas, donde se incluyen los cereales, las leguminosas, las oleaginosas y otros cultivos (Schwartz y Gent, 2005). Durante el desarrollo de esta prueba se lograron identificar estructuras de reproducción del género *Alternaria*, sobre la testa de las semillas, lo que nos indica que la presencia del patógeno influyó sobre la germinación y en la formación de anomalías en las plántulas.

Las anomalías que se observaron durante la prueba (ver anexos en Figura 2) fueron plántulas deformes, alargadas y fracturadas, tallos ahorcados y afectaciones por infecciones primarias; cotiledones rotos, emergidos de la semilla antes que la raíz primaria con tonalidades amarillas blanquecinas, enroscados, rotos, dañados, con presencia de necrosis, y afectados por infecciones primarias; también se observaron anomalías en la raíz primaria, se presentó un atraso en su crecimiento, hubo ausencia de la misma, rotas, con divisiones, alargadas afectadas y decoloradas debido a infecciones primarias. Todos los síntomas anteriores la ISTA (2006), los considera como anomalías durante la germinación de las semillas de la familia de las Asteráceas.

6.2. Análisis de la prueba de longitud media de plántula (Vigor)

La determinación del vigor de las semillas de cártamo de las variedades Guayalejo y RC-1033-L, se expresó por medio de la longitud media de la plántula (LMP) en centímetros. De acuerdo al Cuadro 13 se puede observar que en la variedad Guayalejo, las cinco muestras que se analizaron, resultaron estadísticamente iguales al control, la muestra M3, correspondiente al cultivo de cártamo con aplicaciones de Gobernadora, numéricamente es la que presenta la LMP más alta con 8.42 cm; así mismo en la en la variedad RC-1033-L, las semillas de la muestra M3 también presenta la LMP más alta con 8.03 cm, sin embargo, no existe diferencia significativa.

Cuadro 13. Longitud media de plántulas de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.)

MUESTRA	Variedad Guayalejo (cm)		Variedad RC-1033-L (cm)	
	Longitud media de plántula		Longitud media de plántula	
M0	6.93	a	7.13	a
M1	7.27	a	8.01	a
M2	7.97	a	7.69	a
M3	8.42	a	8.03	a
M4	8.40	a	7.71	a
M5	7.77	a	7.49	a
M6	6.32	a	7.56	a
M7	6.86	a	7.19	a
DHS	2.88		1.46	

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (DHS, $P \geq 0.05$); M0 Testigo; M1 Aceite de Neem; M2 *Bacillus subtilis*; M3 Solución de Gobernadora; M4 Caldo sulfocálcico; M5 Solución al 1% de bicarbonato de sodio; M6 Carbendazim; M7 Fosfito de calcio.

Tadeo *et al.* (2010) consideran a las semillas que muestran una respuesta favorable de “alto vigor” y a aquellas que muestran un desempeño deficiente como de “bajo vigor”, de acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo de investigación podemos considerar a las semillas probadas como semillas de bajo vigor o de mala calidad.

De acuerdo a Ruiz (2004), existen varias causas que afectan el vigor, como su constitución genética, las condiciones ambientales, el manejo de la nutrición de la planta madre, la madurez fisiológica en la cosecha, la integridad física de la semilla, el deterioro presente por un prolongado almacenamiento o por el efecto de patógenos sobre ella; en este caso se trata de semillas de reciente cosecha y por el tipo de hongos identificados en la prueba de micobiota, se puede decir que éstos son los causantes del bajo vigor de las semillas, durante esta prueba se encontró una alta incidencia del género *Alternaria* sobre la testa de las semillas, este patógeno es considerado como uno de los de mayor importancia económica en el deterioro de las semillas de cártamo (Schwartz y Gent, 2005).

Sin embargo, el vigor también puede ser favorecido por otros organismos; por ejemplo, en un estudio se encontró que una cepa de *Bacillus* usada para biocontrol contra hongos del suelo (*F. oxysporum*, *F. solani*, *F. moniliforme*, *Rhizoctonia*) en el cultivo de zanahoria tuvo un efecto positivo en la mejora de la emergencia de las plántulas y también en el rendimiento de frijol y garbanzo (Liu y Yao, 2004 citados en Hernández *et al.*, 2006).

Los resultados de las pruebas de vigor son utilizados normalmente para la toma de decisiones en cuanto a la comercialización o el almacenamiento de semillas (Moreno, 1996).

6.3. Análisis de la prueba de micobiota

En la determinación de la micobiota interna presente en los granos de cártamo de la variedad Guayalejo, podemos observar en el Cuadro 14, que el género *Alternaria* fue el que se presentó con una mayor frecuencia y densidad relativa para todas las muestras analizadas, no observándose ningún efecto sobre la micobiota interna y externa determinada en comparación con el testigo (Cuadro 14 y 15). Con respecto al género *Fusarium* para la micobiota interna analizada, se observó una disminución en la densidad relativa para todas las muestras con excepción de la muestra M7 en donde mostró una densidad relativa del 17 % ligeramente por debajo del testigo (20%). En *Stemphylium* se encontró un 20% de frecuencia en las muestras M0, M3, M5 y M7, con una densidad relativa del 1% en las cuatro muestras con un total de aislamientos de 107, 98, 99 y 106 respectivamente, este hongo no tuvo presencia en las muestras M1 (cultivo con aplicaciones de aceite de Neem), M2 (cultivo con aplicaciones de *Bacillus subtilis*), M4 (cultivo con aplicaciones de caldo sulfocálcico) y M6 (cultivo con aplicaciones de Carbendazim), sin embargo, por la baja presencia de este hongo no se puede afirmar si hubo alguna respuesta positiva con respecto a estos tratamientos aplicados en campo.

El Cuadro 15 muestra los resultados de la micobiota externa presente en las semillas de la variedad Guayalejo, nuevamente se puede apreciar que el género *Alternaria* es el que predomina, encontrando que los tratamientos aplicados en campo no presentaron efecto en alguna de las muestras para este patógeno. En el género *Fusarium* no se observó una presencia importante en la micobiota exógena y para el género *Stemphylium* no se obtuvieron aislados, con excepción de la muestra M7 en donde se desarrollaron solamente dos colonias.

Cuadro 14. Micobiota interna presente en semillas de cártamo variedad Guayalejo

Género	M0			M1			M2			M3			M4			M5			M6			M7		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
<i>Alternaria</i> spp.	86	100	80	95	100	91	94	100	91	92	100	94	92	100	92	85	100	86	96	100	94	88	100	83
<i>Fusarium</i> spp.	20	100	19	9	60	9	9	80	9	5	80	5	8	100	8	13	100	13	6	80	6	17	100	16
<i>Stemphylium</i> spp.	1	20	1	0	0	0	0	0	0	1	20	1	0	0	0	1	20	1	0	0	0	1	20	1
Total de aislamientos	107			104			103			98			100			99			102			106		

a) Número de aislamientos; b) Frecuencia de aislamientos; c) Densidad relativa.; M0 Testigo; M1 Aceite de Neem; M2 *Bacillus subtilis*; M3 Solución de Gobernadora; M4 Caldo sulfocálcico; M5 Solución al 1% de bicarbonato de sodio; M6 Carbendazim; M7 Fosfito de calcio.

Cuadro 15. Micobiota externa presente en semillas de cártamo variedad Guayalejo

Género	M0			M1			M2			M3			M4			M5			M6			M7		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
<i>Alternaria</i> spp.	100	100	97	92	100	91	95	100	94	94	100	99	99	100	97	94	100	94	90	100	98	97	100	96
<i>Fusarium</i> spp.	3	20	3	9	60	9	6	60	6	1	20	1	3	40	3	6	80	6	2	20	2	2	20	2
<i>Stemphylium</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	40	2
Total de aislamientos	103			101			101			95			102			100			92			101		

a) Número de aislamientos; b) Frecuencia de aislamientos; c) Densidad relativa.; M0 Testigo; M1 Aceite de Neem; M2 *Bacillus subtilis*; M3 Solución de Gobernadora; M4 Caldo sulfocálcico; M5 Solución al 1% de bicarbonato de sodio; M6 Carbendazim; M7 Fosfito de calcio.

En el Cuadro 16 se muestran los resultados de la microbiota interna de las semillas de la variedad RC-1033-L, el género *Alternaria* nuevamente presentó una frecuencia y densidad relativa alta para todos los tratamientos analizados, no observándose alguna respuesta fungicida o fungistática. Para el género *Fusarium* se identificó un efecto fungistático en todas las muestras, observándose un mayor efecto fungistático para la M1, en donde se obtuvo una densidad relativa del 3%, correspondiendo al tratamiento del cultivo con Gobernadora, y el menor efecto se observó en la muestra M7 obteniendo una densidad relativa del 17%, con respecto al testigo en donde fue del 58%. La frecuencia más alta del género *Stemphylium* se presentó en las muestras M0, M3, M5 y M7 (40%), también se observó que en las muestras M1 y M6, este patógeno no tuvo presencia, lo que nos sugiere que hubo una respuesta positiva en cuanto al control de este patógeno en las semillas provenientes de los cultivos tratados con aceite de Neem y Carbendazim, respectivamente,

Los resultados de la microbiota externa de las semillas de la variedad RC-1033-L, se observan en el Cuadro 17, donde reiteradamente el género *Alternaria* mostró una alta presencia sin embargo, se observó una reducción en el número de aislamientos en las muestras analizadas con excepción de la M7, que presentó 114 aislamientos. Siendo la muestra M2 la que presentó el menor número de aislamientos (76) en comparación con el control, con 119 colonias de hongos aislados. Para el género *Fusarium* el tratamiento que mostró un efecto fungicida fue el M1, el cual corresponde a las semillas cosechadas del cultivo con aplicaciones de aceite de Neem. En las muestras M6 y M7 no se observó algún efecto sobre el desarrollo de este hongo. Para el género *Stemphylium* también se encontró un efecto fungicida en la muestra M1, además de observarse un efecto fungistático en las muestras M2, M3, M4, M5, M6 y M7 con respecto al control.

Debido a la alta incidencia de los hongos *Alternaria* y *Fusarium*, éstos fueron identificados primero a nivel de género (Cuadro 18) y posteriormente, considerando las características de la macromorfología y micromorfología de las colonias se creyó importante identificar a nivel de especie algunos de los aislados obtenidos del género *Alternaria* siguiendo las claves especializadas de Simmons (2007) cuyas características se describen en el Cuadro 19 y para *Fusarium* las claves morfológicas (Cuadro 20) de Leslie y Summerell (2006).

Cuadro 16. Micobiota interna presente en semillas de cártamo variedad RC-1033-L

Género	M0			M1			M2			M3			M4			M5			M6			M7		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
<i>Alternaria</i> spp.	84	100	59	98	100	97	90	100	88	87	100	92	93	100	89	86	100	89	77	100	85	78	100	80
<i>Fusarium</i> spp.	54	100	38	3	60	3	11	60	11	6	40	6	10	100	10	9	60	9	14	80	15	17	100	17
<i>Stemphylium</i> spp.	4	40	3	0	0	0	1	20	1	2	40	2	1	20	1	2	40	2	0	0	0	3	40	3
Total de aislamientos	142			101			102			95			104			97			91			98		

a) Número de aislamientos; b) Frecuencia de aislamientos; c) Densidad relativa. M0. Testigo; M1. Aceite de Neem; M2. *Bacillus subtilis*; M3. Solución de Gobernadora; M4. Caldo sulfocálcico; M5. Solución al 1% de bicarbonato de sodio; M6. Carbendazim; M7= Fosfito de calcio.

Cuadro 17. Micobiota externa presente en semillas de cártamo variedad RC-1033-L

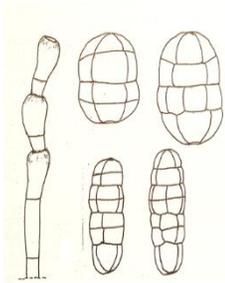
Género	M0			M1			M2			M3			M4			M5			M6			M7		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
<i>Alternaria</i> spp.	119	100	78	93	100	100	76	100	94	95	100	87	93	100	86	92	100	82	106	100	78	114	100	82
<i>Fusarium</i> spp.	12	80	8	0	0	0	3	40	4	11	80	10	9	60	8	6	80	5	23	20	17	21	100	15
<i>Stemphylium</i> spp.	22	60	14	0	0	0	2	40	2	3	40	3	6	40	6	14	80	13	7	100	5	4	40	3
Total de aislamientos	153			93			81			109			108			112			136			139		

a) Número de aislamientos; b) Frecuencia de aislamientos; c) Densidad relativa. M0. Testigo; M1. Aceite de Neem; M2. *Bacillus subtilis*; M3. Solución de Gobernadora; M4. Caldo sulfocálcico; M5. Solución al 1% de bicarbonato de sodio; M6. Carbendazim; M7= Fosfito de calcio.

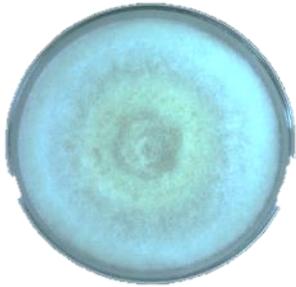
Cuadro 18. Características morfológicas de los géneros de hongos aislados

Género	Enfermedad	Características morfológicas observadas
<p><i>Alternaria</i></p>  	<p>Manchas foliares</p>	<p>Colonias de color gris oscuro, blanco, verde olivo, café o casi negro; conidióforos de color café oscuro a oliváceo, algunos individuales o en pequeños grupos; simples o ramificados. Los conidios de la mayoría de las especies de <i>Alternaria</i> se desarrollan en cadenas, de forma ovalada y algunos se ahúsan o terminan en una especie de pico en el ápice. Son de color café oscuro, paredes lisas, ligera o marcadamente rugosas, con varios septos transversales y longitudinales u oblicuos.</p> <p>Los conidios de las especies de <i>Alternaria</i> tienen características morfológicas únicas, mediante las cuales se puede identificar fácilmente este género. No obstante este género presenta similitudes entre las especies y la variabilidad de la forma, el tamaño y los septos de las esporas, hacen difícil identificar cada especie.</p>
<p><i>Fusarium</i></p>  	<p>Marchitez</p>	<p>En la semilla el micelio se presentó de color blanquecino, con algunas tonalidades moradas, durazno y color crema muy fino, se presentó de manera abundante. Para la identificación de este género, se observaron tres tipos de esporas macroconidios, microconidios y la presencia o ausencia de clamidosporas. Los macroconidios se originan a partir de esporodoquios, monofiálides o polifiálides. La presencia de la célula basal en forma de pie se considera característica de <i>Fusarium spp.</i> Puede presentar ausencia o presencia de microconidios, éstos se pueden presentar solos en falsas cabezas, en cabezas o incluso en cadenas.</p>

Stemphylium



Mancha plateada en cártamo



La colonia de *Stemphylium* en semilla se presentó en tonos grises, café oliváceo y negro, de forma algodonosa y abundante. El micelio creció muy rápido, la colonia estaba formada por conidióforos y numerosos conidios, éstos de color café oscuro, simple y algunas veces ramificados. A medida que se formaban conidios nuevos, se formaban oscuras protuberancias en las partes terminales y crecieron sucesivamente, éstos eran de color café oliváceo a oscuro, con septos horizontales, verticales u oblicuos; de forma rectangular u ovalada, los extremos redondeados, lisos u ornamentados.

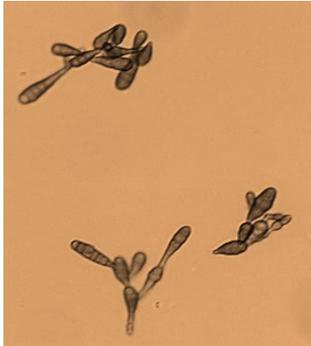
Los conidios más viejos se tornaron de color café oscuro casi negro y las paredes eran muy rugosas. A diferencia de *Alternaria*, los conidios de este género carecen de pico prominente, por ello es muy fácil confundirlos.

Fuente: Warham, *et al.*, 1996; Leslie y Summerell, 2006. (Elaboración propia). Imágenes 40X

Cuadro 19. Características macromorfológicas y micromorfológicas de las especies de *Alternaria* identificadas

Especie	Características morfológicas observadas
<p data-bbox="384 326 590 354"><i>A. tenuissima</i></p>  Microscopic image showing several chains of conidia of <i>A. tenuissima</i> . The chains are relatively long and appear straight or slightly curved. The conidia are elongated and have a distinct pattern of transverse lines or ridges. Some chains show a short branch at the base.	<p data-bbox="764 402 1915 581">Produce cadenas rectas relativamente largas, de conidios formados sobre cortos conidióforos primarios, pero ocasionalmente hay una ramificación corta sobre un conidióforo secundario formado en la base de la cadena de una célula intercalar del conidio. En el medio de cultivo la cadena tiene una posición erguida, vertical.</p>
<p data-bbox="396 792 577 820"><i>A. alternata</i></p>  Microscopic image showing several chains of conidia of <i>A. alternata</i> . The chains are highly branched and appear as dense, isolated clusters. The conidia are elongated and have a distinct pattern of transverse lines or ridges.	<p data-bbox="764 959 1915 1138">Produce cadenas de diez o más conidios muy ramificadas a partir de conidióforos cortos. La ramificación de los conidios surge de los conidióforos secundarios desde células conidiales basales o apicales dando un aspecto abierto. Las cadenas se desarrollan en el medio de cultivo como racimos densos y aislados.</p>

A. infectoria



Presenta largos conidióforos secundarios apicales, con varios sitios conidiógenos, los que resulta en una ramificación abierta. Los conidióforos primarios son cortos y se producen en racimos. La forma de los conidios, el color y la superficie de la colonia varía dentro de este grupo de especies.

A. petalicolor



Especies de la familia *Asteraceae* suelen ser sus hospederas. Presentó cadenas cortas de 3 conidios; los conidios predominantemente cortos, ovoides, con la base ampliamente redondeada y la mitad superior se constriñe gradualmente, corto o cónico, sin un pico definible. Cuenta con 3 - 7 septos transversales.

A. carthami



Las colonias en V8 de 5 a 7 días midieron 6 cm de diámetro, formando tres pares de anillos concéntricos de crecimiento, presentando baja esporulación durante los estados tempranos de desarrollo y en las colonias maduras presentaron un desarrollo abundante de conidióforos con conidios.

Los conidios presentaron dos tipos de desarrollo durante su maduración, la mayoría angostos y elipsoides, y algunos jóvenes largos y ovoides, conservando esta forma a lo largo de la formación de los septos y elongación del pico. Otros conidios ovoides y anchos, algunas veces esferoidales formando un pico largo y septos robustos.

A. graminicola

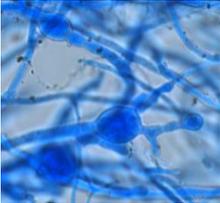


20 x

La colonia en PZA a un fotoperiodo de luz blanca formo anillos concéntricos cubiertos por conidios. Cuando no estuvo expuesto a la luz, los anillos formados por micelio estaban constituidos por hifas hialinas y ramificadas. Todas las hifas aéreas eran ramificadas y surgieron elementos conidiógenos aéreos escasamente dentro de las zonas expuestas a la luz, pero no fueron lo suficientemente densas para ocultar la capa superficial subyacente de grumos de ramificación. En la capa superficial de grupos de conidios se mostraron como una colonia de puntos negros individuales. Las características de crecimiento en V- 8 son similares a los de PZA, excepto que la esporulación en V- 8 en las zonas expuestas a la luz fue más densa y de color opaco.

Fuente: Simmons, 2007. (Elaboración propia) Imágenes 40 x

Cuadro 20. Características macromorfológicas y micromorfológicas de las especies de *Fusarium* identificadas

Especie	Conidios	Conidióforo	Clamidosporas	Características morfológicas observadas
<p><i>F. semitectum</i></p> 	<p>Microconidios escasos.</p> <p>Macroconidios originados en el micelio aéreo y otros en esporodoquios, en ambos casos delgados y curvados.</p>	<p>Simples, con monofilíides ramificadas</p>	<p>Presentes</p>	<p>Crecimiento rápido en PDA con micelio aéreo denso de color marrón a café; esporodoquios presentes de color anaranjado. El reverso de la colonia presentó varios colores desde el marrón hasta café se presentaron algunos moteados de color oscuro.</p> <p>Presencia de polifílides en el micelio aéreo y macroconidios de forma ahusada. Es cosmopolita. Ésta reportada como especie toxígena.</p>
<p><i>F. sambucinum</i></p> 	<p>Microconidios ausentes; macroconidios cortos y gruesos distintivamente septados con pared celular gruesa, fuertemente curvados en su superficie ventral y dorsal. La célula basal tiene forma de pie.</p>	<p>Simple; monofilíides son ramificadas</p>	<p>Abundantes, se forman individualmente, en cadenas y en grupo.</p>	<p>Rápido crecimiento en PDA, algunas colonias con o sin micelio aéreo, el micelio aéreo presente de color blanco, café claro, rosado y café rojizo. Presenta esporodoquios de color azul, crema, café claro o naranja. El reverso de la colonia presentó varios colores, siendo frecuente el color café rojizo, y también café.</p>

F. oxysporum



Microconidios abundantes, unicelulares, ovales y reniformes. Macroconidios abundantes con ligera forma de hoz; la célula apical atenuada y la célula basal en forma de pie.

Simple. Monofiálides ramificada y en las que se producen microconidios, son cortas.

Presentes, de manera individual.

Crecimiento rápido en PDA con micelio aéreo abundante, de color morado a púrpura el medio del cultivo. Esporodocios abundantes de color crema a marrón o naranja. El reverso de la colonia presentó un color café oscuro. Presencia de clamidosporas y de microconidios en falsas cabezas en monofiálides cortas.

Está reportada como especie toxígena.

F. acuminatum



Microconidios fusiformes y reniformes, con 1 o sin septos. Macroconidios de color naranja pálido, moderadamente curvados, célula apical ligeramente elongada y la célula basal es distintiva y presenta 5 septos típicamente

Simple.

Muy escasas y en cadenas.

La tasa de crecimiento en PDA y CLA es muy parecida. No produce clamidosporas. Se considera saprófito y coloniza tejidos necróticos o senescentes. Este patógeno puede causar pudriciones de raíz muy severas en algunas especies leguminosas.

<p><i>F. solani</i></p>	<p>Microconidios ovales, elipsoides, reniformes y fusiformes (Ver anexos) con 0, 1 y ocasionalmente 2 septos. Macroconidios generalmente anchos, rectos y robustos, célula apical embotada y redondeada.</p>	<p>Simple</p>	<p>Abundantes, globosas u ovales, con paredes rugosas.</p>	<p>Colonia de color blanco a crema, con micelio escaso, los esporodoquios se producen abundantemente de color crema, azul o verde. Algunos aislamientos produjeron pigmentos solubles en el agar en tonos violetas y cafés. Es un patógeno cosmopolita.</p>
<p><i>F. verticillioides</i></p>	<p>Microconidios ovales con base plana, sin septos, monofálides semejantes a un par de orejas de conejo. Macroconidios en esporodoquios de color castaño o naranja; alargados con pared delgada, la célula apical curvada y ahusada.</p>	<p>Simple</p>	<p>No presentes.</p>	<p>Al inicio del cultivo el micelio de la colonia es blanco y durante su desarrollo se pigmenta de color violeta. La pigmentación varía en el agar de grisáceo a anaranjado, violeta grisáceo, violeta oscuro o magenta oscuro. Normalmente se encuentra en lugares donde ha sido cultivado maíz y provoca la pudrición del tallo y pudriciones en la mazorca, lo que reduce significativamente el rendimiento y la calidad del grano.</p>

Fuente: Leslie y Summerell, 2006. (Elaboración propia, 2016). Imágenes 40 x

Singh *et al.* (2008) cita a Patil *et al.* (1993) quien indica que el cártamo puede ser infectado por más de 40 patógenos, entre los que se encuentran 40 hongos, 2 bacterias, 14 virus y 1 micoplasma. Las enfermedades de mayor importancia económica en este cultivo incluyen la mancha foliar por *Alternaria* (*A. carthami*, *A. alternata* y *A. zinniae*), pudriciones causadas por *Sclerotinia*, damping off producida por *Pythium* spp., roya por *Puccinia carthami*, marchitamiento y pudrición de la raíz por *Fusarium oxysporum*, pudrición de la raíz por *Phytophthora* spp. y marchitez por *Verticillium* (Mündel *et al.*, 2004).

En México se ha reportado que *A. carthami* y *Fusarium oxysporum*, son agentes causales de enfermedades de importancia económica entre otros agentes, mientras que *Stemphylium* no se reporta como un patógeno de importancia económica. En Tamaulipas enfermedades como la mancha de la hoja, la roya del cártamo y la falsa cenicilla, son los principales agentes causantes de una pérdida considerable en el rendimiento de granos y semillas de cártamo, cuyo potencial de producción es de más de 1.5 ton/ha (Cervantes, 2008).

Así mismo Valadez (2012), reporta que en el ciclo O-I de los años 2002 -2003 a 2009- 2010, el 25% de la superficie sembrada con cártamo en la región de Las Huastecas, Tamaulipas fue siniestrada, una de las principales causas fue la incidencia de enfermedades foliares, del tallo y del capítulo floral, favorecidas por la alta humedad ambiental, durante el periodo de floración; Schwartz y Gent (2005) también reportan que mientras prevalezca una alta humedad relativa y una temperatura cálida, el ataque de *Alternaria* puede ser más severo, sin embargo, el estrés hídrico en la planta hace que ésta sea más susceptible al ataque de esa enfermedad, pues la infección ocurre cuando los conidios están en contacto con las hojas o los estomas, y la espora germina ante la ausencia de humedad penetrando la planta directamente.

Quintana *et al.* (2011), reportan la incidencia de *A. tenuissima* aislada de semillas de cártamo de la variedad S-518 en un 19.5%, en el estado de Sonora, también

indica que en el Valle del Yaqui, *A. carthami* ha sido aislada de siembras comerciales de cártamo.

La mancha de la hoja del cártamo es causada por *Alternaria carthami*, es muy común en todas las regiones del mundo donde se cultiva esta oleaginosa, el primer reporte que se tiene de esta enfermedad es en la India, en este país se han reportado pérdidas del 25 hasta el 60% de la producción, en Estados Unidos un 15%, para México no se encontraron reportes del porcentaje de pérdidas en la producción. Estudios sobre la intensidad del ataque de este patógeno revelan que hay pérdidas importantes en el rendimiento, cuando la enfermedad ataca en las primeras etapas de crecimiento del cultivo, también se reporta que *A. carthami* es un hongo que se disemina por medio de la semilla, ya sea de manera interna o superficial, se ha encontrado que afecta severamente la germinación, pues provoca la pudrición de la raíz y el vigor, disminuyendo el desarrollo normal de las plántulas, pudiendo causar la mortandad de la misma, además de otros hongos como algunas especies de los géneros *Fusarium* y *Aspergillus* que también afectan la germinación y el vigor (Gayathri y Madhuri, 2014; Singh *et al.*, 2008).

Entre los problemas sanitarios del cártamo se encuentran los efectos de *Fusarium oxysporum*, patógeno causante de pudriciones en raíz y el marchitamiento de la planta, estas enfermedades pueden causar daños severos en el rendimiento del cultivo. En la India, la marchitez causada por este patógeno es el de mayor importancia económica; el uso de las variedades tradicionales de cártamo en este país y que son susceptibles a este hongo, provoca el constante aumento en la incidencia del patógeno en este cultivo (Singh *et al.* 2008).

Martínez (2005), indica que el control fitosanitario actual se caracteriza por el alto uso de agroquímicos como insecticidas, fungicidas, herbicidas, entre otros, que representan un alto impacto económico y ambiental. En los últimos años se ha intensificado la búsqueda de agentes de origen natural, que sean amigables con

el ambiente, para la reducción poblacional de insectos, hongos, bacterias y otros microorganismos patógenos de los cultivos.

Por ejemplo Hernández *et al.* (2006), encontraron que algunas cepas de *Bacillus*, presentaron un 54% de efecto inhibitorio sobre el crecimiento micelial como biocontrol sobre *F. oxysporum*, *F. solani*, *F. moniliforme*, *Rhizoctonia* y *Alternaria*, en semillas y plántulas de zanahoria; mientras que Liu y Yao (2004), citados en Hernández *et al.* (2011), mencionan que *Bacillus subtilis* ejerce un efecto fungistático sobre *Alternaria*, en cebolla.

Así mismo Moreno *et al.* (2011) comprobaron el efecto de inhibición del extracto de gobernadora (*Larrea tridentata*) sobre el desarrollo de *Aspergillus flavus* y *Penicillium*, aislados de semillas de maíz, también mencionan que el extracto de gobernadora ejerce un biocontrol del 66% sobre *Alternaria alternata*. La resina extraída de *Larrea tridentata*, muestra actividad antifúngica contra *Fusarium oxysporum*, *Phytium* y otros hongos (Brinker, 1993; citado en Moreno *et al.*, 2011).

El uso de variedades de cártamo resistentes a las enfermedades de importancia económica también es un método considerado como ecológico, que ha ido aumentando de manera significativa (Singh *et al.*, 2008).

4.2 Análisis de la prueba de sintomatología en plántula

En esta prueba se describieron los síntomas que se presentaron durante el desarrollo de la plántula, y los resultados se reportaron en porcentaje. Los resultados en ambas variedades (Cuadro 21), muestran que los porcentajes más altos corresponden a los de las semillas no germinadas con presencia de hongos en todas las muestras y sólo en la variedad RC-1033-L en las muestras M0, M5 y M6 se presentó el 5% de plántulas sanas de las semillas probadas. Sin embargo, todas las plántulas que se desarrollaron en las muestras de la variedad Guayalejo presentaron algún síntoma de infección por algún hongo de los antes descritos en la prueba de micobiota; en las muestras M6 y M7, se registró que en el total de las semillas germinadas (85%), las plántulas presentan alguna sintomatología. También se muestra que no hubo plantas sanas en las 8 muestras de esta variedad. En la variedad RC-1033-L en la muestra M0, se presentó el porcentaje más alto de semillas germinadas, de igual manera con alguna afectación causada por hongos.

Cuadro 21. Resultados de la prueba de sintomatología (%)

Variedad	M0			M1			M2			M3			M4			M5			M6			M7		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Guayalejo	0	25	75	0	55	45	0	20	80	0	35	65	0	20	80	0	70	30	0	85	15	0	85	15
RC-1033-L	5	55	40	0	20	80	0	40	60	0	35	65	0	10	90	5	45	50	5	20	75	0	55	45

- a) Porcentaje de plántulas sanas; b) Porcentaje de plántulas con algún síntoma; c) Porcentaje de semillas que no germinaron con presencia de hongos. M0. Testigo; M1. Aceite de Neem; M2. *Bacillus subtilis*; M3. Solución de Gobernadora; M4. Caldo sulfocálcico; M5. Solución al 1% de bicarbonato de sodio; M6. Carbendazim; M7= Fosfito de calcio.

Haciendo el análisis del reporte de síntomas, la infección se desarrolla de la siguiente manera: en las semillas que no germinaron se observó el desarrollo abundante de micelio gris verdoso, verde oliváceo, blanquecino y algodonoso, en las raíces el ennegrecimiento progresivo fue muy notorio, incluso hubo pérdida de raíz, se hicieron presentes manchas alargadas de un tono rojizo en la base del tallo; el síntoma más notorio en todas las plántulas de ambas variedades fue el ahorcamiento y pudrición del tallo; por último en los cotiledones se presentaban pequeñas machas concéntricas de color café (Figura 23).

De acuerdo a las observaciones en el estereoscopio, las estructuras con mayor presencia correspondieron al género *Alternaria* spp., este patógeno normalmente afecta hojas, tallos, flores y frutos de plantas anuales, en forma de manchas y tizones foliares, aunque también provoca el ahogamiento y pudriciones del tallo en plántulas (Agris, 2013). La semilla infectada con *Alternaria* provoca afectaciones en la germinación, debido a la pudrición que causa; en caso de germinar las plántulas pueden sufrir damping off (Borbón *et al.*, 2010; Montoya, 2010). Por lo que la sintomatología evaluada en la prueba concuerda con lo indicado por los autores anteriormente mencionados.

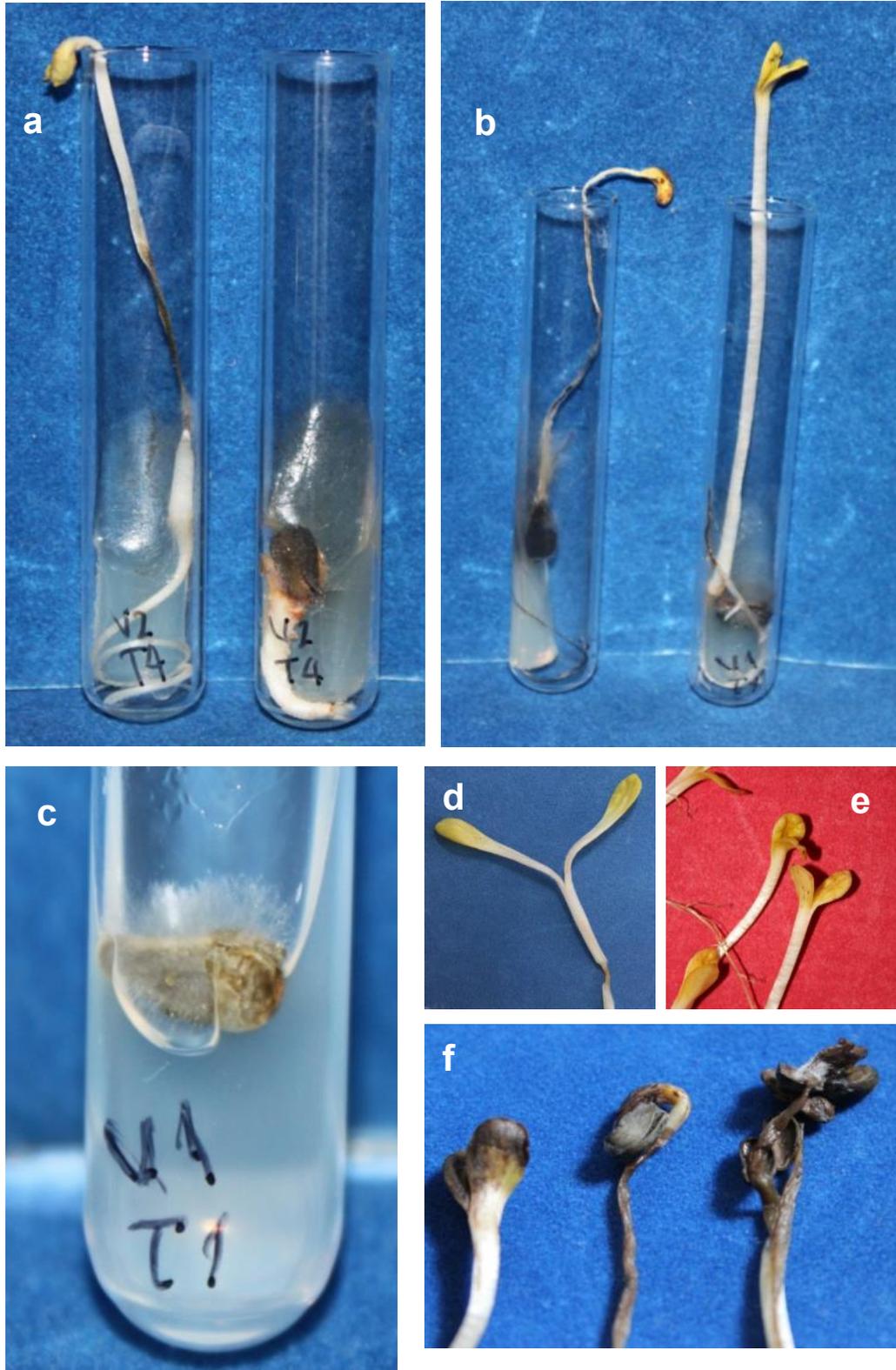


Figura 23. Sintomatología en semillas (a, b, c), raíces (a, b), tallos (a, b, d) y plántulas (e, f)

7. CONCLUSIONES

- Las pruebas de germinación efectuadas para la variedad Guayalejo demostraron que todas las muestras analizadas presentaron un porcentaje de germinación por debajo del mínimo requerido por el SNICS (80%) para esta oleaginosa.
- La muestra perteneciente a las semillas de la variedad Guayalejo, que durante su cultivo se le aplicó una solución de bicarbonato de calcio al 1%, presentó la germinación más alta del 76%, por debajo del límite mínimo aceptado para su comercialización.
- Las aplicaciones de fosfito de calcio y solución de gobernadora durante el cultivo de cártamo de la variedad RC-1033-L, tuvieron el mejor efecto sobre las semillas en cuanto a la germinación, esta muestra presentó el 81%, dentro de los límites establecidos para la comercialización de semilla de cártamo.
- En la prueba de vigor se encontró que la solución de Gobernadora tuvo una tendencia positiva al presentar el porcentaje de vigor más alto para ambas variedades (8.42% en Guayalejo y 8.03% en RC-1033-L), en comparación con los otros tratamientos.
- El análisis de la microbiota reveló que los hongos que se manifestaron con mayor incidencia en orden de importancia fueron *Alternaria* spp., *Fusarium* spp. y *Stemphylium* spp.
- No se observó reducción del género *Alternaria* en la microbiota interna y externa de las muestras de la variedad Guayalejo.
- En la variedad Guayalejo, con respecto al género *Fusarium*, se encontró un efecto fungistático excepto en la muestra M7, cultivo tratado con fosfito de calcio.

- En la variedad RC-1033-L no se observó efecto alguno sobre la microbiota interna con respecto al género *Alternaria*, sin embargo, sí hubo una reducción en la microbiota externa de este género.
- En cuanto al género *Fusarium*, en la microbiota interna de la variedad RC-1033-L se observó un efecto fungistático para todas las muestras, siendo la muestra del cultivo tratado con Gobernadora el mejor.
- En la microbiota externa de la variedad RC-1033-L se observó que las semillas de cártamo procedente del cultivo tratado con Neem tuvo un efecto fungicida sobre el desarrollo de *Fusarium* spp. y *Stemphylium* spp.
- Algunas de las especies determinadas como *A. alternata*, *A. tenuissima*, *A. infectoria*, *F. semitectum*, *F. sambucinum*, *F. oxysporum*, *F. solani* y *F. verticillioides*, son potencialmente productoras de micotoxinas, pudiendo poner en riesgo la salud humana y animal.
- La prueba de sintomatología permitió observar satisfactoriamente el desarrollo de la enfermedad causada por especies de los géneros *Alternaria* y *Fusarium* transmitidas por semilla, durante la germinación y emergencia de las plántulas.

8. RECOMENDACIONES

- Intensificar la investigación en el desarrollo y uso de productos ecológicos o de bajo impacto ambiental como el bicarbonato de calcio y extracto de Gobernadora, que tengan un efecto positivo sobre la calidad del grano de cártamo destinado a la industria aceitera, sin que estos afecten sus características bioquímicas y organolépticas. Así mismo redoblar esfuerzos en la transferencia de la tecnología e innovación generada por instituciones y centros dedicados a la investigación, como el presente trabajo.
- Debido a la alta incidencia de especies del género *Alternaria* y *Fusarium* identificadas en este trabajo, como potencialmente productoras de micotoxinas, deberán realizarse pruebas analíticas que nos permitan determinar la presencia de micotoxinas en cártamo destinado a la producción de aceites comestibles para el humano.

9. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. Agrios, G. (2013). *Fitopatología*. 2ª Edición. México: Limusa. 358-432 p.
2. Barnett, H.L. y Hunter, B. (1999). *Illustrated genera of imperfect fungi*. Fourth Edition. USA: The American Phytopathological Society. 218 p.
3. Borbón, A., Ochoa, X., Pérez, J., García, M., Macías, J. y Montoya, L. (2010). *Guía para producir cártamo en Sinaloa*. Sinaloa: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 26 p.
4. Brinker, F. (1993). *Larrea tridentata (D.C.) Chaparral or cresote bush* en Moreno, S., González, L., Salcedo, S., Cárdenas, S. y Perales, A. (2011). Efecto antifúngico del extracto de gobernadora (*Larrea tridentata*) sobre la inhibición in vitro de *Aspergillus flavus* y *Penicillium* sp. *Revista Polibotánica*. Vol. 32: 193 – 205.
5. Cervantes, J. (2008). Ficha tecnológica por sistema producto. Cártamo. Guayalejo: variedad de cártamo para el Noreste de México. Tamaulipas, México. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 1 p.
6. Chávez, J. *¿Qué es la I.S.T.A.? Uso de las reglas de la I.S.T.A.* [pdf] Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Disponible en: <http://snics.sagarpa.gob.mx/Documents/ISTA.pdf> [Fecha de consulta: 25 de Febrero de 2016].
7. Christensen, C. y Kaufmann, H. (1969). *Grain storage. The role of fungi in quality loss*. University of Minnesota Press. Mineapolis. 153 p.
8. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (CONABIO). (2015). Naturalista, Azafrán (*Carthamus tinctorius*). Disponible en: <http://conabio.inaturalist.org/taxa/76135-Carthamus-tinctorius> [Fecha de consulta: 29 de Mayo de 2015].

9. Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas (CNSPO). (2006). *Cártamo (Carthamus tinctorius L.) Usos y Propiedades*. Disponible en http://www.oleaginosas.org/art_91.shtml. [Fecha de consulta: 21 de Abril de 2015].
10. Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas (CNSPO). (2012). *El cultivo de cártamo bajo sistema de labranza de conservación en Las Huastecas*. Disponible en http://www.oleaginosas.org/art_410.shtml . [Fecha de consulta: 04 de Noviembre de 2015].
11. Dajue, L. y Mündel, H. (1996). *Safflower Carthamus tinctorius L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*. 7. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research. [pdf] Rome: International Plant Genetic Resources Institute. 83 p. Disponible en: <http://safflower.wsu.edu/Manual.pdf> [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2015].
12. Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*. [En línea], 31 (1), pp. 74-85. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025859362010000100011&lng=es&nrm=iso [Fecha de consulta e 16 abril 2015].
13. Espinosa, A., Tadeo, M., Tinoco, L., Martínez, R., Tellez, C., González, A., Valdivia, R., Caballero, F., Sierra, M., Gómez, N., Palafox, A. y Zamudio, A. (2009). Épocas de cosecha, productividad y tamaño de semilla con relación al vigor. *Agricultura Técnica en México*. Vol. 35 (2). 2009: 169- 177. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60812688004> [Fecha de consulta: 26 de Febrero de 2016].
14. FAO. (2011). *Semillas en emergencia*. Manual técnico. [pdf] Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 81 p.
15. FAOSTAT. (2015). Base de datos. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E> [Fecha de consulta: 15 de Octubre de 2015].

16. FAOSTAT. (2016). Base de datos. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E> [Fecha de consulta: 24 de Enero de 2016].
17. Flores, A. (2004). *Introducción a la tecnología de semillas*. Texcoco, Estado de México. Universidad Autónoma Chapingo. 160 p.
18. González, L., Martínez, J. y Resnick, L. (1997). Fungi associated with sorghum grain from Argentina. *Mycopathologi*. Vol. 139 (35): 41.
19. Gayathri, A. y Madhuri, V. (2014). Seed mycoflora of safflower and its control by using botanicals, bioagents and fungicides – a review. *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical technology*. [En línea] Vol. 5 (1). 2009 – 2015. Disponible en: www.ijabpt.com [Fecha de consulta: 25 de Enero de 2016].
20. Groenewold, B., Mayek, N. y Padilla, J. (2003). Hongos asociados a la semilla de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Aguascalientes, México *Revista Mexicana de Fitopatología*. [En línea], Vol. 21 (3): 375-377. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61221320> [Fecha de consulta: 16 de abril de 2015].
21. Hernández, F., Aguirre, A., Lira, R., Guerrero, E. y Gallegos G. (2006). Bioeficacia de productos orgánicos, biológicos y químicos contra *Alternaria dauci* Kühn y su efecto en el cultivo de zanahoria. *Revista Internacional de Botanica Phytton*. Vol. 77: 241 -252.
22. INFOASERCA. (1999). *Panorama de la oferta y demanda mundiales de cártamo en 1998/99*. Claridades Agropecuarias. Vol. 71 (35): 38.
23. INFOASERCA. (2000). *El Cártamo en PROCAMPO*. Claridades Agropecuarias. Vol. 86 (32): 33.
24. INFOASERCA. (2000). *Oferta y demanda mundiales de cártamo*. Claridades Agropecuarias. Vol. 86 (42): 44.
25. INFOASERCA. (2003). *El Cártamo, una Oleaginosa para el Mercado de Exportación*. Claridades Agropecuarias. Vol. 86 (03):16.
26. International Seed Testing Association (ISTA). (2006). *Handbook for seedling evaluation*. 3rd Edition. Bassersdorf, Switzerland. 26, 27 y 28 p.

27. International Seed Testing Association (ISTA). (2009). *International rules for seed testing*. Bassersdorf, Switzerland.
28. International Seed Testing Association (ISTA). (2010). *Handbook on flower seedling evaluation*. Bassersdorf, Switzerland.
29. Klich, M. (2002). *Identification of common Aspergillus species*, CBS, Centraalbureau voor Schimmelcultures, Utrecht, Netherlands. 116 p.
30. Leslie, F. y Summerell, A. (2006). *The Fusarium, Laboratory Manual*. USA: Blackwell Publishing. 388 p.
31. Ley Federal de producción, certificación y comercio de semillas. (2007). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFPCCS.pdf> [Fecha de consulta: 29 de mayo de 2015].
32. Liú J. y Yao J. (2004). Study on mutagenic breeding of *Bacillus subtilis* and properties of its antifungal substance en Hernández, F., Aguirre, A., Lira, R., Guerrero, E. y Gallegos G. (2006). Bioeficacia de productos orgánicos, biológicos y químicos contra *Alternaria dauci* Kühn y su efecto en el cultivo de zanahoria. *Revista Internacional de Botanica Phytón*. Vol. 77: 241 -252.
33. Martínez, J., Estrada, E., Cáceres, A., Álvarez, G. y García, S. (2005). *Detección de plantas utilizadas para el manejo y control de enfermedades fungosas en los principales cultivos alimenticios y evaluación preliminar de su actividad in vitro*. Proyectos de investigación. Guatemala: Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales. Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala. 39-46 p.
34. Mathur, S. y Kongsdal, O. (2003). *Common laboratory seed health testing methods for detecting fungi*. Switzerland: ISTA. 425 p.
35. Mendoza, M., Latournerie, L., Moreno, E., Castañón, G., Cruz, J., De León, C. y García, J. (2004). Cambios en la calidad de la semilla de maíz durante se desarrollo y maduración. *Agronomía Mesoamericana*. Vol. 15 (2): 150- 160.
36. Montoya, L. (2010). El cultivo de cártamo (*Carthamus tinctorius*_L.) en México. Ciudad Obregón, Sonora. Folleto para productores: *Instituto Nacional de*

- Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*. Centro de Investigación Regional del Noreste, Sonora, México. 96 p.
37. Moreno, E. (1988). *Manual para la identificación de hongos en granos y sus derivados*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. 109 p.
38. Moreno, E. (1996). *Análisis físico y biológico de semillas agrícolas*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. 393 p.
39. Moreno, S., González, L., Salcedo, S., Cárdenas, S. y Perales, A. (2011). Efecto antifúngico de extracto de gobernadora (*Larrea tridentata*) sobre la inhibición in vitro de *Aspergillus flavus* y *Penicillium* sp. *Revista Polibotánica*. Vol. 32: 193 – 205.
40. Mündel, H., Blackshaw, R., Byers, J.-R., Huang, H., Johnson, D., Keon, R., Kubik, J., Mckensie, R., Otto, B. y Standford, K. (2004). *Safflower Production on the Canadian Prairies*. [pdf] Alberta, Canada: Agriculture and Agri- Food Canada. 43 p. Disponible en: http://safflower.wsu.edu/SafflowerProduction_Canada.pdf [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2015].
41. Muñoz, M. (2008). *Determinación de hongos en granos de cebada (*Hordeum vulgare* L.) y presencia natural de micotoxinas*. Tesis de Licenciatura. Cuautitlán Izcalli, México: Universidad Nacional Autónoma de México. 96 p.
42. Muschick, M. (2009). The evolution of seed testing. *Second World Seed Conference*. [pdf] Rome: ISTA.
43. Patil, M., Shinde, Y. y Attarde, K. (1993). *Evaluation of safflower cultures for resistance to Alternaria leaf spot (*Alternaria carthami*) and management strategies* en Sing V., Ranaware, A. y Nimbkar, N. (2008). Breeding for *Fusarium* wilt resistance in safflower. [pdf] [En línea] Wagga Wagga, Australia. *Proceedings of the 7th International Safflower Conference*. Disponible en: <http://safflower.wsu.edu/Conf2008/Genetics/final%20Sumitha-Nimbkar%20oral%20paper.pdf> [Fecha de consulta: 17 de febrero de 2016]
44. Quintana, E., López, J., Cira, L. y Sánchez, D. (2011). Actividad antifúngica del quitosano contra *Alternaria tenuissima* in vitro y en semilla de cártamo. *Revista Mexicana de Fitopatología*. Vol. 29 (2): 168-172.

45. Ramírez, M., Luna, B., Velázquez, O., Vierra, L., Mejía, A., Tsuzuki, G., Hernández, L. y Mügggenburg, I. (2001). *Manual de prácticas de microbiología general*. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 290 p.
46. Rathod, S. y Chavan, A. (2010). Incidence of *Alternaria* species on different cereals, pulses and oil seeds. *Journal of Ecobiotechnology*. [pdf] Vol. 2 (6): 63-35.
47. Real Academia Española. (2006). Diccionario esencial. Disponible en: <http://lema.rae.es> [Fecha de consulta: 25 de febrero de 2016].
48. Robles, R. (1982). *Producción de oleaginosas y textiles*, Capítulo 6, Editorial LIMUSA. 331-391 p.
49. Rueda, O. (2011). *La importancia de la sanidad de semillas en la producción de plantas*, 2° Folleto, Universidad de Sonora, División de ciencias administrativas, contables y agropecuarias, Santa Ana, Sonora.
50. Ruiz, F. (2004). *Las semillas: biología, vigor y relevancia en la producción agrícola*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Fundación Produce Baja California Sur A.C. La Paz, Baja California: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 11- 43 p.
51. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2014). *Atlas Agroalimentario, con los pies en la tierra*. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 45 – 46 p.
52. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2015). Base de datos. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/siembras-y-cosechas/> [Fecha de consulta: 17 de Octubre de 2015].
53. Schwartz, H. y Gent, D. (2005). *Safflower, Alternaria Leaf Spot*. [pdf] [En línea] USA: University of Wyoming. University of Nebraska, Colorado State University and Montana State University. Disponible en: <http://wiki.bugwood.org/uploads/Alternarialeafspot-Sunflowers.pdf> [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2015].

54. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). (2014). *Reglas para la calificación de las semillas de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.)*. [pdf] México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 15 pp.
55. Silveira, M., Aldana, M., Medina, L. y Serrano, F. (2009). Situación de la producción de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) en Sonora, México y factores asociados. *BIOtecnica*. Vol. 11 (3): 44 - 56.
56. Simmons, E. G. (2007). *Alternaria and identification manual*. CBS, Fungal Biodiversity Centre. Utrecht, Netherlands. 775 p.
57. Singh, V., Ranaware, A. y Nimbkar, N. (2008). Breeding for *Fusarium* wilt resistance in safflower. [pdf] [En línea] Wagga Wagga, Australia. *Proceedings of the 7th International Safflower Conference*. Disponible en: <http://safflower.wsu.edu/Conf2008/Genetics/final%20Sumitha-Nimbkar%20oral%20paper.pdf> [Fecha de consulta: 17 de febrero de 2016]
58. Tadeo, M., Espinosa, A. y Bayardo, M. (2009). *Manual de prácticas de laboratorio de producción de granos y oleaginosas*. Departamento de Ciencias Agrícolas. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Cuautitlán Izcalli, México: Universidad Nacional Autónoma de México. 80 p.
59. Tadeo, M., Espinosa, A., Valdivia, A., Gómez, N., Sierra, M. y Zamudio, B. (2010). Vigor de las semillas y productividad de variedades de maíz. *Agronomía mesoamericana*. [En línea] Volumen 21 (1). 31-38 pp. Disponible en: <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/4909/4720> [Fecha de consulta: 16 de Noviembre de 2015].
60. Terenti, O. (2004). *Calidad de semilla, qué implica y cómo evaluarla*. [En línea] Disponible en: http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/27-calidad_semillas.pdf [Fecha de consulta: 29 de mayo de 2015].
61. Ulloa, M. y Hanlin, R. T. (2003). *Nuevo diccionario ilustrado de micología*. The American Phytopathological Society. USA. 672 p.

62. Valadez, J. (2009). *Prevención y control químico de enfermedades en cártamo*. Oleaginosas en Cadena. Boletín bimestral publicado por el Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas. Distrito Federal, México 5 p.
63. Valadez, J., Aguirre, E., García, J. y Ávila, J. (2011). *Guía para cultivar cártamo en Las Huastecas*, Folleto para productores No. 18. Tamaulipas, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Noreste. Campo Experimental Las Huastecas. 49 p.
64. Valadez, J. (2012). *Rendimientos de granos de dos variedades de cártamo (Carthamus tinctorius L.) en respuesta al control de enfermedades con productos de bajo impacto ambiental*. Tamaulipas, México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Noreste.
65. Valadez, J. (2015). *Guía para cultivar cártamo optimizando captación de agua para siembras de temporal en Las Huastecas*. [pdf]. Tamaulipas, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Noreste. Campo Experimental Las Huastecas. 49 p.
66. Vargas, R. (2012). *Transferencia de tecnología de cártamo, en el valle de Santo Domingo, Baja California Sur*. Tesis de Licenciatura. Cuautitlán Izcalli, México: Universidad Nacional Autónoma de México. 84 p.
67. Virgen, J., Zepeda, R., Avila, M., Espinosa, A., Arellano, J. y Gámez, A. (2016). Producción y calidad de semilla de maíz en Valles Altos de México. *Agronomía mesoamericana*. [En línea] Vol. 27 (1): 191-206. Disponible en: <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/21899/22545> [Fecha de consulta: 02 de febrero de 2016].
68. Warham, E.J., Butler, L.D., y Sutton, R.C. (1996). *Ensayos para la semilla de maíz y de trigo*. Manual de Laboratorio. México: Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 84 p.

10. ANEXOS

Glosario

- **Ácido linoleico.** Es un ácido graso esencial de la serie omega 6, es decir, el organismo no puede producirlo y tiene que ser adquirido a través de la dieta.
- **Ácido oleico.** Ácido graso monoinsaturado de la serie omega 9 típico de los aceites vegetales como el aceite de oliva, del aguacate, cártamo, etc. Ejerce una acción benéfica en los vasos sanguíneos que reduce las enfermedades cardiovasculares.
- **Cultivo axénico.** Dicho de un cultivo o de un microorganismo: que se desarrolla en un ambiente donde no hay ningún otro organismo vivo.
- **Hospedero.** Huésped (vegetal o animal en que se aloja un parásito).
- **Incubar.** Mantener a una temperatura de calor constante.
- **Microbiota.** También conocida como microflora es el conjunto de microorganismos que se localizan de manera normal en distintos sitios.
- **Micobiota.** Conjunto de hongos que se localizan de manera normal en distintos sitios.

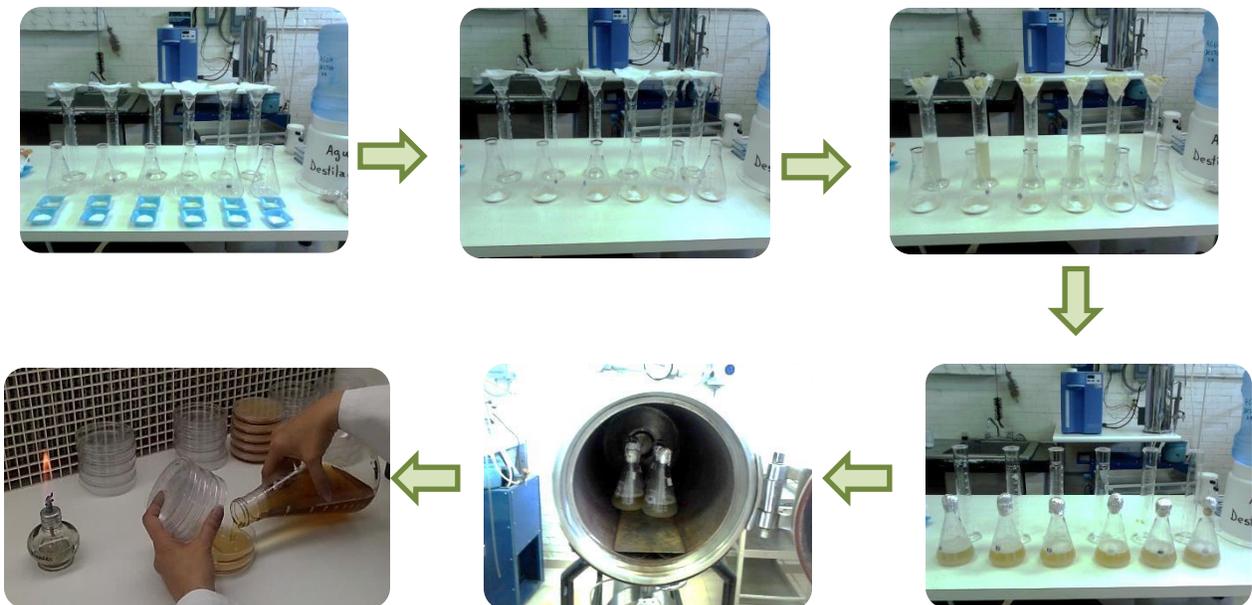
- **Patógeno.** Que origina o desarrolla una enfermedad. Apl. A un microorganismo.
- **Taco o muñeca.** Hace referencia a las semillas envueltas en papel tipo anchor; enrolladas.
- **Semilla.** En términos agronómicos o comerciales se conoce como semilla a toda clase de granos, frutos y estructuras más complejas (unidad semilla), que se emplean en las siembras agrícolas.
- **Semillas muertas.** Semillas muertas son aquellas que absorben agua, se pudren y no producirán una plántula durante el análisis de germinación.
- **Semillas duras.** Debido a que estas son semillas que no absorben agua, no se hincharán y no comenzarán el proceso germinativo. Este es un problema con limitado número de especies que incluye algunas leguminosas.
- **Surfactante.** Sustancia que reduce la tensión superficial de un líquido y que sirve como agente humectante o detergente.
- **Teliospora.** Espora de resistencia en royas y carbones.
- **Vilano.** Apéndice de pelos que corona el fruto de muchas plantas compuestas y le sirve para ser transportado por el aire.

Preparación de medio de cultivo Infusión Papa Dextrosa Agar (IPDA)

Este medio se utiliza para aislar un gran número de hongos. Para la preparación de 1000 ml de este medio de cultivo se necesita:

- Agar 20 g
- Dextrosa 20 g
- Papa 200 g
- Agua destilada 1000 ml

Las papas deben ser lavadas y cortadas en cubos pequeños, se hierven en agua destilada por 20 minutos aproximadamente o hasta que estén suaves. La infusión se filtra en un embudo y con una capa delgada de manta de cielo, se vierte a una probeta, ésta se afora a 500 ml con agua destilada. En un matraz se adiciona el agar y la dextrosa, después se adicionan 500 ml de la infusión para que se disuelvan, y se afora a 1000 ml, se tapa el matraz y se esteriliza en autoclave durante 15 minutos a 15 libras de presión y 121 °C. Una vez realizada la esterilización, se procede a verter el medio en cajas de Petri, en una campana de flujo laminar bajo condiciones de asepsia.



Preparación de medio de cultivo Papa Zanahoria Agar (PZA)

Este medio se utiliza para aislar hongos del género *Alternaria* para poder identificar especies. Para la preparación de 1000 ml de este medio de cultivo se necesita:

- Agar 20 g
- Zanahoria 20 g
- Papa 20 g
- Agua destilada 1000 ml

Las zanahorias y las papas deben ser lavadas y cortadas en cubos pequeños, se hierven en agua destilada por 20 minutos aproximadamente o hasta que estén suaves, se filtran en un embudo a través de una capa delgada de manta de cielo, y se vierte la infusión a una probeta, aforando a 500 ml con agua destilada. En un matraz se adicionan los 500 ml de la infusión, el agar y se afora a 1000 ml; se tapa y se esteriliza en autoclave durante 15 minutos a 15 libras de presión y 121 °C. No es necesario ajustar el pH (Simmons, 2007). Una vez esterilizado se vierte el medio en cajas de Petri estériles en la campana de flujo laminar.

Preparación de medio de cultivo V8 agar (V8A)

Este medio se utiliza para aislar hongos del género *Alternaria* para poder identificar especies. Para la preparación de 1000 ml de este medio de cultivo se necesita:

- Agar 20 g
- Bicarbonato de calcio (CaCO_3) 3 g
- Jugo de verduras V8 175 ml
- Agua destilada 1000 ml

En un matraz se adiciona el agar, el carbonato de calcio y el jugo de verduras V8, posteriormente se adiciona el agua destilada hasta lograr 1000 ml de la solución, se tapa el matraz y se esteriliza en autoclave durante 15 minutos a 15 libras de presión a 121 °C (Simmons, 2007). Una vez esterilizado, se procede a verter en cajas de Petri estériles en un ambiente aséptico en campana de flujo laminar.

Preparación de medio de cultivo Clavel agar (CLA)

Este medio se utiliza en el aislamiento de hongos del género *Fusarium* para la identificación de especies. Para la preparación de 1000 ml de este medio de cultivo se necesita:

- Agar 20 g
- Agua 1000 ml
- Fragmentos de hojas de clavel estériles

Las hojas de la planta de clavel deben ser tratadas previamente, se cortan en cuadros, se someten a un proceso de secado en estufa durante 3 o 4 horas, después se seleccionan las hojas y se envuelven en contenedores de aluminio o policarbonato y se esterilizan en autoclave por 20 minutos a 15 libras de presión y 121 °C, incluso se pueden almacenar a temperatura ambiente hasta 12 meses, antes de usarse.

En un matraz se prepara el agar al 2%, 20 g de agar se adicionan en 1000 ml de agua destilada; se tapa el matraz y se esteriliza en autoclave durante 15 minutos a 15 libras de presión a 121 °C.

En una caja de Petri estéril de 60 mm de diámetro, se colocan de 5 a 6 piezas y de 10 a 12 piezas en cajas de 100 mm de diámetro, de las hojas de clavel bien distribuidas en la caja, y se agrega el agua agar (Leslie y Summerell, 2006).

Germinación y sintomatología causada por hongos en semillas de cártamo.



Figura 1. Semillas de *Carthamus tinctorius* (a). Semillas de cártamo con manchas causadas por hongos (b, c). Presencia de vilano en la corona de la semilla (d). Semillas de la variedad RC-1033-L (e). Proceso de germinación de cártamo (f). Elaboración propia, 2016.



Figura 2. Plántula anormal (a). Plántulas deterioradas como resultado de infección por hongos (b, c, d, e). Colonia de hongos asociados a la semilla, presencia de cotiledones sin desarrollar a causa de la infección y mancha rojiza del tallo por *Fusarium* spp. (f). Plántulas anormales con ennegrecimiento de raíces, tallos y cotiledones causados por especies de *Alternaria* (g, h, i). Ahorcamiento del tallo, síntoma característico de *Alternaria* spp (j, k, l).

Estructuras morfológicas utilizadas en la identificación de los hongos aislados

Características de los conidios para la identificación de especies de *Alternaria*.

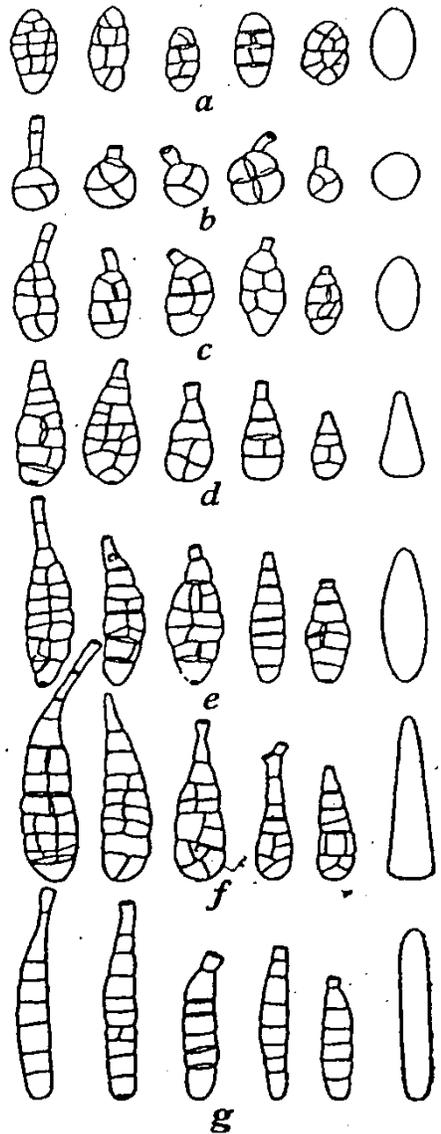


Figura 3. Diferentes tipos de conidios. Ovalados sin pico (a); Forma de bola (b); óvalo corto (c); Cónico corto (d); Ovalado alargado (e); Cónico alargado (f); Cilíndrico (g). Mathur y Kongsdal, (2003).

Características morfológicas de los conidios y tipos de fiálides para la identificación de especies de *Fusarium*.

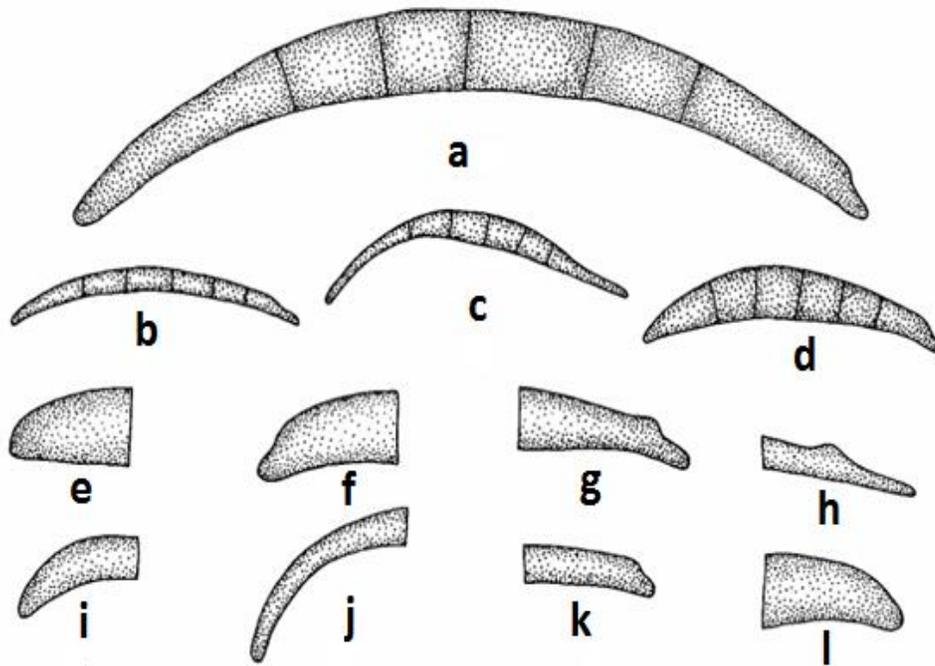


Figura 4. Formas típicas de macroconidios (**a, b, c, d**); Formas de la célula apical del macroconidio (**e, f, g, h**); Formas de la célula basal del macroconidio (**i, j, k**).

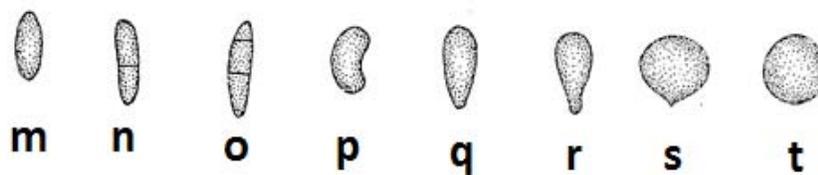
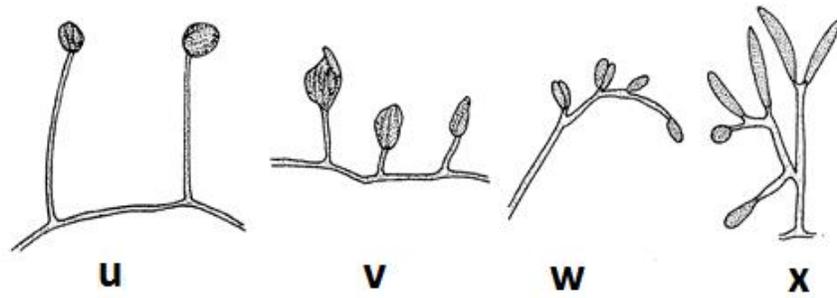
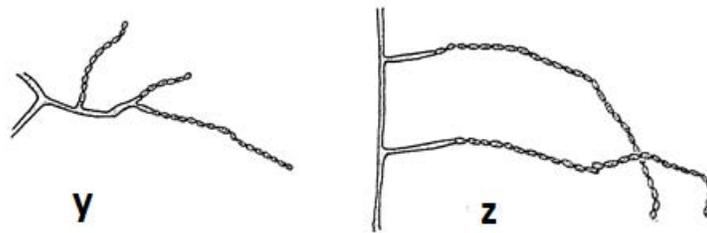


Figura 5. Formas de microconidios. Ovaladas (**m**); Dos células ovales (**n**); Tres células ovales (**o**); Reniforme (**p**); Ovoide con la base truncada (**q**); Piriforme (**r**); Napiforme (**s**); Globosa (**t**).



Tipos de fiálides. Monofiálides (**u**) por ejemplo *F. solani*; Monofiálides (**v**) por ejemplo *F. oxysporum*; Polifiálides (**w**) por ejemplo *F. polyphialidicum*; Polifiálides (**x**) por ejemplo *F. semitectum*.



Cadenas de microconidios. Cadenas cortas (**y**); Cadenas largas (**z**).

Fuente: Leslie y Summerell, 2006.